

**СТРОИТЕЛЬСТВО ПС 110 КВ ЕРМОЛИНО С УСТАНОВКОЙ ДВУХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/10 КВ МОЩНОСТЬЮ 25
МВА КАЖДЫЙ И ЗАХОДОВ ОТ ВЛ 110 КВ ИКША -БЕЛЫЙ РАСТ № 3
НА ПС 110 КВ ЕРМОЛИНО С ОБРАЗОВАНИЕМ ВЛ 110 КВ ИКША 1 -
ЕРМОЛИНО И ВЛ 110 КВ БЕЛЫЙ РАСТ - ЕРМОЛИНО**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 10. Иная документация в случаях, предусмотренных
законодательными и иными нормативными правовыми актами
Российской Федерации**

Часть 2. Координация изоляции. ПС 110 кВ Ермолино

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ

Том 10.2

«СОГЛАСОВАНО»

Главный инженер проекта

ООО «СвязьЭнергоСтрой»

_____ **П.А. Александров**

«__» _____ **2025г.**

**СТРОИТЕЛЬСТВО ПС 110 КВ ЕРМОЛИНО С УСТАНОВКОЙ ДВУХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/10 КВ МОЩНОСТЬЮ 25
МВА КАЖДЫЙ И ЗАХОДОВ ОТ ВЛ 110 КВ ИКША -БЕЛЫЙ РАСТ № 3 НА
ПС 110 КВ ЕРМОЛИНО С ОБРАЗОВАНИЕМ ВЛ 110 КВ ИКША 1 -
ЕРМОЛИНО И ВЛ 110 КВ БЕЛЫЙ РАСТ - ЕРМОЛИНО**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 10. Иная документация в случаях, предусмотренных
законодательными и иными нормативными правовыми актами**

Российской Федерации

Часть 2. Координация изоляции. ПС 110 кВ Ермолино

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ

Том 10.2

Генеральный директор

Костин М.К.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА

Обозначение	Наименование	Примечание
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-С	Содержание тома	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Пояснительная записка	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1	Схема замещения для расчёта высокочастотных перенапряжений	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2	Схемы замещения для расчёта грозовых перенапряжений. ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ3	Схемы замещения для расчёта грозовых перенапряжений. ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино	
Приложение А	Осциллограммы напряжений и токов, полученные в результате расчетов	

Инв. №		Подп. и дата		Взам. инв. №											
		</													

Оглавление

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ	4
1 АННОТАЦИЯ	5
2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	6
2.1 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА	6
2.2 РАЗМЕЩЕНИЕ ОПН	6
2.3 ДАННЫЕ ПО ВЛ 110 КВ.....	6
2.4 ПРИНИМАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ КЗ	7
2.5 ДОПУСТИМЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ	7
2.6 ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТНЫХ СХЕМ	8
2.7 ПРИНИМАЕМЫЕ В РАСЧЁТАХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПН	9
3 РАСЧЕТЫ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТИ 110 КВ.....	10
3.1 РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ДЛЯ РАСЧЁТА ВНУТРЕННИХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	10
3.2 КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ	10
3.3 КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ.....	12
3.4 ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ И ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ НИХ.....	14
3.4.1 УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	14
3.4.2 РАСЧЕТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	14
3.4.3 ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ	15
3.4.4 ГРОВОЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ	15
4 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПН 110 КВ.....	18
4.1 ВЫБОР НАИБОЛЬШЕГО ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО РАБОЧЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПН	18
4.2 ВЫБОР КЛАССА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОПН	18
4.3 ВЫБОР НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПН	18
4.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО УРОВНЯ ОПН ПРИ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ	18
4.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО УРОВНЯ ОПН ПРИ ГРОВОЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ.....	19
4.6 ВЫБОР ОПН ПО УСЛОВИЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ	19
5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН 10 КВ.....	20
5.1 ОСОБЕННОСТИ СЕТИ 10 КВ ОБЪЕКТА	20
5.2 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПН 10 КВ	20
6 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В НЕЙТРАЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	22
7 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОПН	23
СПИСОК НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	28

			3 РАСЧЕТЫ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТИ 110 КВ..... 10						
			3.1 РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ДЛЯ РАСЧЁТА ВНУТРЕННИХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 10						
			3.2 КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ 10						
			3.3 КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ..... 12						
			3.4 ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ И ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ НИХ..... 14						
			3.4.1 УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 14						
			3.4.2 РАСЧЕТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 14						
			3.4.3 ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ 15						
			3.4.4 ГРОВОЗОВЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ 15						
			4 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПН 110 КВ..... 18						
			4.1 ВЫБОР НАИБОЛЬШЕГО ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО РАБОЧЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПН 18						
			4.2 ВЫБОР КЛАССА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОПН 18						
			4.3 ВЫБОР НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПН 18						
			4.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО УРОВНЯ ОПН ПРИ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ 18						
			4.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО УРОВНЯ ОПН ПРИ ГРОВОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ 19						
			4.6 ВЫБОР ОПН ПО УСЛОВИЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ 19						
			5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН 10 КВ..... 20						
			5.1 ОСОБЕННОСТИ СЕТИ 10 КВ ОБЪЕКТА 20						
			5.2 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПН 10 КВ 20						
			6 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В НЕЙТРАЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 22						
			7 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОПН 23						
			СПИСОК НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 28						
Согласовано									
Взам. инв. №									
Подпись и дата									
Инв. № подл.							Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ		
	Изм.	Кол.у	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Пояснительная записка		
	Разработал	Ковалев			07.25				
	Проверил	Костин			07.25				
Н. контр.		Костин			07.25	ООО «СпецЭМС»			

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

ВАХ	Вольт-амперная характеристика
ВЛ	Воздушная линия
ВЧ	Высокочастотный
ГОСТ	Государственный стандарт
ЗРУ	Закрытое распределительное устройство
КЗ	Короткое замыкание
КРУ	Комплектное распределительное устройство
ОАПВ	Однофазное автоматическое повторное включение
ОПН	Ограничитель перенапряжений нелинейный
ОРУ	Открытое распределительное устройство
ПС	Подстанция
ПУЭ	Правила устройства электроустановок
РД	Руководящий документ
СТО	Стандарт отраслевой
ТАПВ	Трехфазное автоматическое повторное включение
ТН	Трансформатор напряжения
ТСН	Трансформатор собственных нужд
ТТ	Трансформатор тока
ФНП	Фильтр нулевой последовательности
ЭА	Электрический аппарат
ЭДС	Электродвижущая сила

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ

Лист

2

1 АННОТАЦИЯ

В нормальном режиме напряжение на изоляции оборудования не должно повышаться сверх наибольшего рабочего напряжения. Всякое превышение мгновенным значением напряжения на изоляции амплитуды наибольшего рабочего напряжения принято называть перенапряжением. В большинстве случаев перенапряжения имеют кратковременный характер, так как возникают при быстро затухающих переходных процессах или в аварийных режимах, время существования которых ограничивается действием релейной защиты и системой автоматики. Различные виды перенапряжений имеют длительность от единиц микросекунд до нескольких часов. Даже самые кратковременные перенапряжения способны привести к пробое или перекрытию изоляции и связанной с этим необходимостью последующего отключения поврежденного элемента сети, то есть к перерывам в электроснабжении потребителей или снижением качества электроэнергии.

Основными защитными аппаратами для защиты изоляции от грозовых коммутационных перенапряжений в настоящее время являются нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). Защитные свойства ОПН основаны на нелинейности вольтамперной характеристики их рабочих элементов, обеспечивающей заметное снижение сопротивления при повышенных напряжениях и возврат в исходное состояние после снижения напряжения до нормального рабочего.

При построении схем защиты от перенапряжений оборудования РУ с помощью ОПН необходимо решать две основные тесно связанные друг с другом задачи:

- выбор числа, мест установки и характеристик защитных аппаратов, которые обеспечат надежную защиту изоляции от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- обеспечение надежной работы самих защитных аппаратов при воздействии на них рабочего напряжения сети, а также при воздействии квазистационарных перенапряжений, для ограничения которых защитные аппараты не предназначены.

В данном томе представлены расчёты перенапряжений, возникающие в высоковольтных сетях возводимой ПС 110 кВ Ермолино, и требования к техническим характеристикам защитных аппаратов позволяющих обеспечить защиту изоляции высоковольтного оборудования.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ				Лист
										3

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1 Краткое описание объекта

Распределительное устройство 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино планируется выполнить в виде ОРУ по схеме № 110-7 «Четырёхугольник» (см. [2]).

На ПС 110кВ Ермолино будут заходить следующие линии 110 кВ:

- ВЛ 110 кВ Икша I – Ермолино;
- ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино.

Распределительное устройство 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино планируется выполнить в виде ЗРУ по схеме 10-1 с секционированной одним выключателем системой шин. На стороне 10 кВ будет предусмотрено заземление нейтрали через резисторы 10 кВ, подключенные к 1 и 2 секциям КРУ 10 кВ через фильтры нулевой последовательности (ФНП). Заходы всех присоединений в РУ 10 кВ (за исключением заходов от силовых трансформаторов) на всем протяжении будут выполнены посредством кабельных линий.

2.2 Размещение ОПН

В соответствии с электрической принципиальной схемой ПС 110 кВ Ермолино (см. черт. Д208320-330739ПИР-227.0-ОТР.ГЧ2-01), на ОРУ 110 кВ планируется установка четырёх (трехфазных) комплектов ОПН 110 кВ: два комплекта ОПН перед силовыми трансформаторами Т-1 и Т-2 и по одному комплекту на заходах обеих ВЛ 110 кВ. Также предусматривается установка ОПН в нейтралях силовых трансформаторов. Планируемая схема расстановки защитных аппаратов (ОПН) для защиты оборудования класса напряжения 110 кВ, в том числе силовых трансформаторов, удовлетворяет требованиям НТД [2, 13, 19]. В соответствии с [2], установка ОПН на заходах ВЛ 110 кВ требуется, если ОПН, устанавливаемые для защиты силовых трансформаторов, не обеспечивают защиту изоляции наиболее удалённых (по ошиновке) электроаппаратов на ОРУ. Обоснование необходимости установки ОПН на заходах ВЛ 110 кВ выполнено расчётными методами (см. Раздел 3).

Схема расстановки ОПН в РУ класса напряжения 10 кВ в современной НТД не регламентируется. В ЗРУ 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино защитные аппараты (ОПН) планируется установить на присоединениях силовых трансформаторов (требование п.4.2.149 [13]), на обеих секциях шин 10 кВ перед соответствующими ТН, а также на присоединениях ТСН и ФНП. Поскольку все уходящие за пределы ПС линии 10кВ на всем протяжении будут выполнены кабелями, установка ОПН на таких присоединениях не требуется. Установка ОПН в ЗРУ 10 кВ на присоединениях ТСН, выполняемых посредством коротких (не более нескольких десятков метров) КЛ, позволит обеспечить эффективную защиту изоляции данных КЛ, а также ТСН при выполнении коммутационных операций вакуумными выключателями коротких участков КЛ. В соответствии с требованиями НТД [10], для сети работающей с резистивно заземленной нейтралью, предусматривается установка ОПН в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.

2.3 Данные по ВЛ 110 кВ

В Таблице 2.1, в соответствии с данными тома Д208320-330739/ПИР-ЭЭС, представлена информация о протяженности и параметрах схем замещения ВЛ 110 кВ, заход которых планируется на ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино.

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист		
соответствии с требованиями НТД [10], для сети работающей с резистивно заземленной нейтралью, предусматривается установка ОПН в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.									
2.3 Данные по ВЛ 110 кВ									
В Таблице 2.1, в соответствии с данными тома Д208320-330739/ПИР-ЭЭС, представлена информация о протяженности и параметрах схем замещения ВЛ 110 кВ, заход которых планируется на ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино.									
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист		
Изм.						Лист			
Кол.уч						4			
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									
Подпись									
Дата									
Изм.									
Кол.уч									
Лист									
№ док.									

Таблица 2.1

Параметры схем замещения ВЛ 110 кВ

Наименование линии	Протяженность ВЛ, км	Значения параметров линий 110кВ				Емкостная проводимость, мкСм
		Прямая последовательность		Нулевая последовательность		
		R ₁ , Ом	X ₁ , Ом	R ₀ , Ом	X ₀ , Ом	
ВЛ 110 кВ Икша I – Ермолино	4,349	1,052	1,860	2,081	6,230	12,335
ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино	4,775	1,040	2,000	2,248	6,189	12,589

2.4 Принимаемые значения токов КЗ

В Таблице 2.2, в соответствии с данными тома Д208320-330739/ПИР-ЭЭС, представлены значения токов КЗ в сети 110 кВ на ПС 110кВ Ермолино и смежных с ней объектах.

Таблица 2.2

Токи КЗ в сети 110кВ

Объект	Ток КЗ, кА	
	трехфазный	однофазный
ПС 110 кВ Ермолино	21,58	19,73
ПС 110 кВ Икша I	22,68	19,47
ПС 750 кВ Белый Раст	34,23	36,55

Наибольший ток трехфазного КЗ в сети 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино, в соответствии с данными тома Д208320-330739/ПИР-ЭЭС, составляет 19,01 кА.

2.5 Допустимые перенапряжения в высоковольтных сетях

В соответствии с НТД [3, 4], в нормальном режиме работы наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, прикладываемое к изоляции оборудования класса напряжения 110 кВ, не должно превышать величины 126 кВ; в нормальном режиме работы наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, прикладываемое к изоляции оборудования класса напряжения 10 кВ, не должно превышать величины 12 кВ.

Допустимые значения грозовых, коммутационных и кратковременных перенапряжений для изоляции оборудования класса напряжений 110 кВ и 10 кВ приняты в соответствии с требованиями НТД [3, 4] представлены в Таблице 2.3.

Таблица 2.3

Принимаемые значения допустимых грозовых, коммутационных и кратковременных перенапряжений в сетях 110 кВ и 10 кВ

Класс напря- жения сети	Тип оборудования	Грозовой импульс, кВ		Коммутационный импульс, кВ		Кратковре- менное (одноминутное) переменное напряжение, кВ
		испыта- тельное	с учётом координацион- ного интервала	испыта- тельное	с учётом координацион- ного интервала	
110 кВ	Трансформатор напряжения, конденсатор связи	480	384	340	272	200
	Трансформатор тока	450	360			
	Выключатель, разъединитель	450	360			
	Трансформатор силовой	480	384			

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ

Лист

5

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
Изм.	Кол.уч	Лист
№ док.	Подпись	Дата

Таблица 2.5

Принимаемые значения погонных параметров и волновых сопротивлений шин 110 кВ

Параметр	Значение параметра
Погонная индуктивность L , мкГн/м	1,61
Погонная емкость C , пФ/м	6,40
Волновое сопротивление ошиновки Z , Ом	500

Сопротивления примыкающих систем для ВЛ 110 кВ Икша I – Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино, рассчитанные на базе данных о токах КЗ представлены в Таблице 2.6.

Таблица 2.6

Эквивалентные сопротивления систем

Наименование линии	Объект	Эквивалентные параметры системы			
		Прямая последовательность		Нулевая последовательность	
		R_1 , Ом	L_1 , мГн	R_0 , Ом	L_0 , мГн
ВЛ 110 кВ Икша I – Ермолино	ОРУ 110 кВ Икша I	0,52	16,5	0,77	24,3
	ОРУ 110 кВ Ермолино	0,62	19,8	0,62	20
ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино	ОРУ 110 кВ Белый Раст	0,25	8,0	0,19	6,1
	ОРУ 110 кВ Ермолино	1,15	36,6	0,88	28

2.7 Принимаемые в расчётах характеристики ОПН

Для моделирования переходных процессов в расчетных схемах замещений, вольт-амперные характеристики ОПН 110 кВ, устанавливаемых на ПС, в первом приближении принимаем в соответствии с предельными требованиями НТД [1] к величинам остающихся напряжений на ОПН для различных значений токов коммутационных и грозовых импульсов – см. Таблицу 2.7.

Таблица 2.7

Остающиеся напряжения на ОПН 110 кВ при грозовых и коммутационных импульсах тока

Наименование параметра ОПН	Значение параметра
Остающиеся напряжения (кВ, не более) при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой, А, не более	
- 5000	265
- 10000	280
- 20000	315
Остающиеся напряжения (кВ, не более) при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой, А, не более	
- 250	215
- 500	217
- 1000	230

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	<div>Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ</div>	Лист
										7

3 РАСЧЕТЫ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТИ 110 кВ

Расчёты внутренних (квазистационарных и коммутационных) перенапряжений выполнялись для обеих ВЛ 110 кВ. Выбор характеристик ОПН для защиты оборудования на ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино выполнялся на базе результатов расчётов и требований НТД [1].

3.1 Расчетная схема для расчёта внутренних и коммутационных перенапряжений

Для расчета внутренних и коммутационных перенапряжений на ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино были разработаны расчетные схемы замещений соответствующих ВЛ и примыкающих к ним сетей (см. Рисунок 3.1).

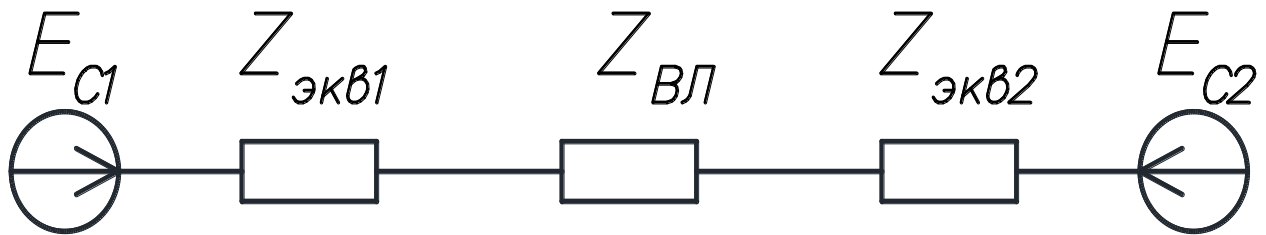


Рисунок 3.1. Расчетная схема замещения

Обозначения, принятые на схеме:

E_{C1} – эквивалентная ЭДС системы со стороны ПС 110 кВ Ермолино;

E_{C2} – эквивалентная ЭДС системы со стороны смежного объекта;

$Z_{эKB1}$ – эквивалентное сопротивление системы со стороны ПС 110 кВ Ермолино;

$Z_{эKB2}$ – эквивалентное сопротивление системы со стороны смежного объекта;

$Z_{ВЛ}$ – эквивалентное сопротивление ВЛ 110 кВ, в соответствии с данными Таблицы 2.1.

Все ВЛ и системы, примыкающие к конечным подстанциям рассматриваемой линии, эквивалентировались к шинам сети 110 кВ по прямой и нулевой последовательностям путем свертывания комплексных сопротивлений линий. При составлении схемы замещения сети для всех ВЛ (кроме рассматриваемой) принималась П-образная схема замещения. Рассматриваемая ВЛ в расчетной схеме представляется линией с распределенными параметрами.

Эквивалентные ЭДС примыкающих систем (E_{C1} и E_{C2}) принимались равными 126 кВ, то есть наибольшему рабочему напряжению сети (см. Раздел 2.5).

Эквивалентные сопротивления систем, примыкающих к рассматриваемым линиям ($Z_{эKB1}$ и $Z_{эKB2}$), приняты в соответствии данными Таблицы 2.6.

Моделирование переходных процессов выполнялось на базе расчётной схемы замещения (см. Рисунок 3.1) с помощью программного обеспечения *MathLAB* и *Simulink*.

3.2 Квазистационарные перенапряжения

Квазистационарные перенапряжения возникают после коммутации и могут существовать длительное время, пока не будет изменена схема, в которой они возникли. Квазистационарные перенапряжения возникают при несимметричных режимах работы сети.

Временные допустимые повышения напряжения ОПН должны с запасом удовлетворять требованиям, которые формируются на основе рассчитанных квазистационарных перенапряжений при различных видах коммутаций с учетом времени действия релейной защиты, линейной и противоаварийной автоматики.

Для оценки уровня квазистационарных перенапряжений, возникающих на ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино, рассматривались следующие случаи:

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							8

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	
------	--------	------	--------	---------	--

- однофазное КЗ;
- однофазное и двухфазное отключение линии;
- двухфазное КЗ на землю;
- двухфазное межфазное КЗ.

Наибольшие перенапряжения на ОПН в сети 110 кВ будут наблюдаться при протекании токов КЗ в непосредственной близости от мест их установки. Поэтому моделирование указанных выше режимов производилось в точках схемы замещения, соответствующих местам размещения ОПН, то есть на территории соответствующих объектов.

В Таблицах 3.1 и 3.2 приведены расчетные значения квазистационарных перенапряжений (в абсолютных и относительных единицах) для ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино.

Таблица 3.1

Квазистационарные перенапряжения на ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино

Тип коммутации	Место коммутации	Напряжение (фазное)			
		ОРУ 110 кВ на ПС 110 кВ Икша I		ОРУ 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино	
		Действующее, кВ	Кратность, о.е.	Действующее, кВ	Кратность, о.е.
Однофазное КЗ	ПС 110 кВ Ермолино	78,5	1,08	72,6	1,00
	ПС 110 кВ Икша I	72,6	1,00	76,8	1,06
Двухфазное КЗ на землю	ПС 110 кВ Ермолино	81,9	1,13	72,4	1,00
	ПС 110 кВ Икша I	72,4	1,00	78,9	1,08
Двухфазное межфазное КЗ	ПС 110 кВ Ермолино	72,7	1,00	72,7	1,00
	ПС 110 кВ Икша I	72,7	1,00	72,7	1,00
Однофазное отключение линии	ПС 110 кВ Ермолино	72,8	1,00	72,8	1,00
	ПС 110 кВ Икша I	72,8	1,00	72,8	1,00
Двухфазное отключение линии	ПС 110 кВ Ермолино	72,8	1,00	72,8	1,00
	ПС 110 кВ Икша I	72,8	1,00	72,8	1,00

Таблица 3.2

Квазистационарные перенапряжения на ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино

Тип коммутации	Место коммутации	Напряжение (фазное)			
		ОРУ 110 кВ на ПС 750 кВ Белый Раст		ОРУ 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино	
		Действующее, кВ	Кратность, о.е.	Действующее, кВ	Кратность, о.е.
Однофазное КЗ	ПС 110 кВ Ермолино	70,7	0,97	68,6	0,94
	ПС 750 кВ Белый Раст	70,9	0,97	76,8	1,06
Двухфазное КЗ на землю	ПС 110 кВ Ермолино	67,3	0,92	62,1	0,85
	ПС 750 кВ Белый Раст	67,9	0,93	78,8	1,08
Двухфазное межфазное КЗ	ПС 110 кВ Ермолино	72,7	1,00	72,7	1,00
	ПС 750 кВ Белый Раст	72,7	1,00	72,7	1,00
Однофазное отключение линии	ПС 110 кВ Ермолино	72,8	1,00	72,8	1,00
	ПС 750 кВ Белый Раст	72,7	1,00	72,7	1,00
Двухфазное отключение линии	ПС 110 кВ Ермолино	72,8	1,00	72,8	1,00
	ПС 750 кВ Белый Раст	72,7	1,00	72,7	1,00

В соответствии с результатами расчетов, наибольшие значения (до ~79 кВ) квазистационарные перенапряжения на шинах 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино возникают при двухфазных КЗ на землю на ОРУ 110 кВ смежных с ПС 110 кВ Ермолино объектах.

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ

Лист

9

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм. Кол.уч Лист № док. Подпись Дата

3.3 Коммутационные перенапряжения

Коммутационные перенапряжения возникают в результате переходных процессов при проведении коммутаций в системах электропередач. Амплитуда свободных колебаний зависит от разности мгновенных напряжений в точке коммутаций линии до и после данной коммутационной операции. В случае, если перенапряжения превышают значения испытательных напряжений, нормируемых для оборудования (с учетом координационного интервала), для их ограничения применяют ОПН.

Расчёты выполнялись коммутации, при которых ожидаются наиболее высокие перенапряжения. В качестве расчетных были рассмотрены следующие виды коммутации:

- успешное ТАПВ;
- неуспешное ТАПВ;
- успешное ОАПВ;
- неуспешное ОАПВ;
- одностороннее включение незаряженной ВЛ;
- трехфазное одностороннее отключение линии при действии автоматики прекращения асинхронного хода при угле асинхронного хода, равном 90 электрических градусов.

В Таблицах 3.3 и 3.4 приведены результаты расчётного определения перенапряжений в циклах ограниченных коммутаций (при условии подключения ОПН на концах ВЛ) для ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино.

Таблица 3.3

Ограниченные коммутационные перенапряжения на ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
и токи, протекающие через ОПН

Тип коммутации	Место КЗ	Место коммутации	ПС 110 кВ Ермолино				ПС 110 кВ Икша I	
			кВ	о.е.	Ток через ОПН, А	Энергия на ОПН, кДж	кВ	о.е.
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	105,5	1,03	0,0	0,0	111,3	1,08
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	177,0	1,72	0,0	0,0	193,5	1,88
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Ермолино	109,1	1,06	0,0	0,0	106,2	1,03
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Ермолино	185,7	1,80	0,0	0,0	207,7	2,02
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Икша I	107,4	1,04	0,0	0,0	113,3	1,10
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Икша I	206,8	2,01	0,0	0,0	186,2	1,81
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Икша I	109,1	1,06	0,0	0,0	102,9	1,00
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Икша I	190,6	1,85	0,0	0,0	175,4	1,71
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	208,3	2,02	21,1	0,0	102,9	1,00
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	210,5	2,05	51,2	0,3	194,8	1,89
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Ермолино	102,9	1,00	0,0	0,0	210,3	2,04
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Ермолино	209,7	2,04	38,6	0,2	210,3	2,04
								Лист
								10
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата			

								13	
Тип коммутации	Место КЗ	Место коммутации	ПС 110 кВ Ермолино				ПС 110 кВ Икша I		
			кВ	о.е.	Ток через ОПН, А	Энергия на ОПН, кДж	кВ	о.е.	
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Икша I	208,3	2,02	21,1	0,0	102,9	1,00	
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Икша I	208,3	2,02	21,1	0,0	208,5	2,03	
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Икша I	102,9	1,00	0,0	0,0	210,3	2,04	
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Икша I	ПС 110 кВ Икша I	188,6	1,83	0,0	0,0	210,3	2,04	
Включение линии	---	ПС 110 кВ Ермолино	197,0	1,91	0,4	0,0	183,0	1,78	
Включение линии	---	ПС 110 кВ Икша I	183,7	1,79	0,0	0,0	195,3	1,90	
Разрыв асинхронного хода	---	ПС 110 кВ Икша I	197,3	1,92	0,4	0,0	177,7	1,73	
Разрыв асинхронного хода	---	ПС 110 кВ Ермолино	165,6	1,61	0,0	0,0	207,7	2,02	
Таблица 3.4 Ограниченные коммутационные перенапряжения на ВЛ 110 кВ Белый Раст – Ермолино – и токи, протекающие через ОПН									
Тип коммутации	Место КЗ	Место коммутации	ПС 110 кВ Ермолино				ПС 750 кВ Белый Раст		
			кВ	о.е.	Ток через ОПН, А	Энергия на ОПН, кДж	кВ	о.е.	
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	103,9	1,01	0,0	0,0	107,0	1,04	
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	184,0	1,79	0,0	0,0	196,5	1,91	
Неуспешное ОАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 110 кВ Ермолино	109,5	1,06	0,0	0,0	107,9	1,05	
Успешное ОАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 110 кВ Ермолино	198,3	1,93	0,0	0,0	205,4	2,00	
Неуспешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 750 кВ Белый Раст	106,9	1,04	0,0	0,0	104,1	1,01	
Успешное ОАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 750 кВ Белый Раст	207,5	2,02	0,0	0,1	182,8	1,78	
Неуспешное ОАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 750 кВ Белый Раст	111,1	1,08	0,0	0,0	102,9	1,00	
Успешное ОАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 750 кВ Белый Раст	189,0	1,84	0,0	0,0	147,9	1,44	
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	199,7	1,94	1,0	0,0	102,9	1,00	
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 110 кВ Ермолино	210,4	2,04	48,6	0,2	181,3	1,76	
Неуспешное ТАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 110 кВ Ермолино	103,0	1,00	0,0	0,0	214,0	2,08	
Успешное ТАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 110 кВ Ермолино	207,2	2,01	15,7	0,1	214,0	2,08	
Неуспешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 750 кВ Белый Раст	199,7	1,94	1,0	0,0	102,9	1,00	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ									
								Лист	
								11	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата				

Тип коммутации	Место КЗ	Место коммутации	ПС 110 кВ Ермолино				ПС 750 кВ Белый Раст	
			кВ	о.е.	Ток через ОПН, А	Энергия на ОПН, кДж	кВ	о.е.
Успешное ТАПВ	ПС 110 кВ Ермолино	ПС 750 кВ Белый Раст	199,7	1,94	1,0	0,0	203,0	1,97
Неуспешное ТАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 750 кВ Белый Раст	103,0	1,00	0,0	0,0	214,0	2,08
Успешное ТАПВ	ПС 750 кВ Белый Раст	ПС 750 кВ Белый Раст	199,1	1,94	0,8	0,0	214,0	2,08
Включение линии	---	ПС 110 кВ Ермолино	204,8	1,99	6,5	0,0	178,7	1,74
Включение линии	---	ПС 750 кВ Белый Раст	186,1	1,81	0,0	0,0	191,5	1,86
Разрыв асинхронного хода	---	ПС 750 кВ Белый Раст	138,9	1,35	0,0	0,0	120,4	1,17
Разрыв асинхронного хода	---	ПС 110 кВ Ермолино	196,4	1,91	0,0	0,0	206,6	2,01

В наиболее тяжелом режиме – успешном ТАПВ на ПС 110 кВ Ермолино при КЗ на ПС 110 кВ Ермолино, уровень перенапряжений в сети 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино будет ограничен величиной ~210 кВ, что соответствует кратности перенапряжений 2,04.

3.4 Проверка возможности возникновения высокочастотных и феррорезонансных перенапряжений и разработка мероприятий по защите от них

3.4.1 Условия возникновения высокочастотных перенапряжений

Высокочастотные перенапряжения на элементах высоковольтных распределительных устройств являются результатом высокоскоростной перезарядки емкостей шин данных распределительных устройств во время аварийных и эксплуатационных коммутаций.

Наибольшие амплитуды ВЧ-перенапряжений наблюдаются при коммутациях разъединителями холостых участков шин и кабельных линий. Каждая такая коммутация сопровождается многократными пробоями межконтактного промежутка разъединителя и, как следствие, возникают быстрозатухающие электромагнитные колебания с частотами от 50 до 1000 кГц.

3.4.2 Расчет высокочастотных перенапряжений

Расчеты ВЧ-перенапряжений производились для случая коммутации разъединителем ЛР 110 кВ Икша I холостых шин ОРУ 110кВ.

На черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1 представлена соответствующая схема замещения для расчета ВЧ-перенапряжений, выполненная на основании принципиальной электрической схемы ПС 110 кВ Ермолино. Для оценки сверху амплитуды ВЧ-перенапряжений, в расчётной схеме присутствует минимальное количество ОПН; коммутация осуществляется в момент наибольшего значения фазного напряжения источника.

Вольт-амперные характеристики ОПН в расчётах принимались в соответствии с данными Таблицы 2.7.

Результаты расчетов ВЧ-перенапряжений представлены в Таблице 3.5.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №							Лист
									12
			Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	

изоляции ВЛ принята равной 850 кВ (на ~50% выше испытательного напряжения грозовых импульсов и на ~10% выше величины 50%-ного импульсного разрядного напряжения для полимерного изолятора ЛКК 70/110 длиной 1,28 м на поддерживающих опорах ВЛ 110 кВ). Наибольшая возможная амплитуда тока молнии, при ее разряде в фазный провод ВЛ для данного напряжения составляет ~8,9 кА.

Рассчитанные наибольшие значения грозовых перенапряжений в разных точках схемы и токи через ОПН представлены в Таблице 3.4.

Таблица 3.6

Максимальные значения токов и напряжений на электроаппаратах при разрядах молнии

Электроаппарат/ оборудование		Напряжение на электроаппарате		Ток через ОПН, кА	Энергия, выделившаяся на ОПН, кДж	Тепловой заряд ОПН, Кл		
		Расчётное					Допустимое, кВ (в соответствии с Таблицей 2.3)	
		кВ	о.е.					
Схема А1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2								
ОПН 110 Икша I		269	2,6	-	6,1	64,5	0,21	
КС 110 Икша I		279	2,71	384	-	-	-	
ОПН 110 Т-2		256	2,49	-	3,3	40,5	0,16	
ТН 110 Икша I		276	2,68	384	-	-	-	
В 13		278	2,70	360	-	-	-	
Т-2		256	2,49	384	-	-	-	
Схема Б1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2								
ОПН 110 Т-2		277	2,69	-	8,9	97,0	0,37	
КС 110 Икша I		431	4,19	384	-	-	-	
ТН 110 Икша I		416	4,05	384	-	-	-	
В 13		369	3,59	360	-	-	-	
Т-2		277	2,69	384	-	-	-	
Схема В1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2								
ОПН 110 Икша I		277	2,69	-	8,9	97,5	0,37	
КС 110 Икша I		290	2,82	384	-	-	-	
ЛР 110 Икша I		313	3,04	360	-	-	-	
Схема А2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ3								
ОПН 110 Белый Раст		270	2,63	-	6,5	59,0	0,23	
КС 110 Белый Раст		276	2,68	384	-	-	-	
ОПН 110 Т-1		254	2,47	-	2,9	39,0	0,16	
ТН 110 Белый Раст		274	2,67	384	-	-	-	
В 11		274	2,67	360	-	-	-	
Т-1		255	2,48	384	-	-	-	
Схема Б2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ3								
ОПН 110 Т-1		277	2,69	-	8,9	102	0,39	
КС 110 Белый Раст		506	4,92	384	-	-	-	
ТН 110 Белый Раст		490	4,77	384	-	-	-	
В 11		362	3,52	360	-	-	-	
Т-1		277	2,69	384	-	-	-	
Схема В2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ3								
ОПН 110 Белый Раст		277	2,69	-	8,9	97,5	0,37	
КС 110 Белый Раст		290	2,82	384	-	-	-	
ЛР 110 Белый Раст		313	3,04	360	-	-	-	
Осциллограммы напряжений и токов, полученные в ходе расчётов приведены на Рисунках А.7 ÷ А21 в Приложении А.								
В соответствии с результатами расчётов, грозовые перенапряжения не будут представлять опасности для изоляции всего высоковольтного оборудования на ОРУ 110 кВ только при установке ОПН 110 кВ на заходах обеих ВЛ 110 кВ. Установка ОПН 110 кВ на фазных проводах								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Лист		
							Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	14

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ

только перед трансформаторами Т-1 и Т-2 не во всех случаях позволит обеспечить защиту изоляции электроаппаратов вблизи захода ВЛ 110 кВ на ОРУ 110 кВ. Также следует отметить, что грозовые перенапряжения не будут представлять опасности для изоляции ЛР и КС на ОРУ 110 кВ при набегании грозовых импульсов со стороны ВЛ при отсутствии подключения соответствующей ВЛ 110 кВ к ОРУ 110 кВ (ЛР в отключенном состоянии).

Инв. № подл.	Подпись и дата					Взам. инв. №	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	
						Лист	
						15	

4 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПН 110 кВ

4.1 Выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН должно быть не ниже наибольшего рабочего напряжения сети ($U_{нр}$).

По результатам проведенных расчетов (см. Разделы 3.2 и 3.3), с учетом максимального напряжения в сети 110 кВ, величину длительно допустимого напряжения ОПН допускается принимать вблизи нижней границы значений данной величины из номенклатуры ОПН, выпускаемых для сети 110 кВ.

В соответствии с требованиями НТД [9] для повышения надежности наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН должно быть не менее, чем на 2-5% выше наибольшего уровня напряжения сети в точке установки ОПН.

С учетом вышеперечисленного, а также требований НТД [1], величина длительно допустимого рабочего напряжения устанавливаемых ОПН на ПС 110 кВ Ермолино должна быть не менее 77 кВ.

4.2 Выбор класса энергоемкости ОПН

Практическим критерием оценки энергоемкости ОПН является его способность пропускать нормируемые импульсы тока без потери рабочих качеств.

В соответствии с проведенными расчетами, наиболее тяжелым режимом работы ОПН является протекание через него импульсного тока молнии (см. Раздел 3.4.4). Энергия, выделяемая на ОПН, в этом случае может достигать 102 кДж, что соответствует удельной энергоемкости 1,0 кДж/кВ $U_{нр}$.

С учетом требований [1], энергоемкость устанавливаемых новых ОПН 110 должна быть не ниже 2,1 кДж/кВ $U_{нр}$.

Тепловой заряд при протекании через ОПН 110 импульсного тока молнии может достигать 0,39 Кл (см. Таблицу 3.6). С учётом требований НТД [7], для ОПН 2-го класса пропускной способности (минимальный класс пропускной способности для ОПН класса напряжения 110 кВ в соответствии с требованиями НТД [1]) тепловой заряд устанавливаемых ОПН 110 кВ должен составлять не менее 1,1 Кл.

4.3 Выбор номинального напряжения ОПН

ОПН должен быть проверен на соответствие его временных допустимых повышений напряжений квазиустановившимся перенапряжениям при различных видах коммутаций с учетом времени действия релейной защиты, линейной и противоаварийной автоматики. В соответствии с расчетами, представленными в Разделе 3.2, максимальное значение напряжения, прикладываемое к ОПН, может достигать величины ~79кВ. В соответствии с требованиями [1], номинальное напряжение ОПН должно быть на 25% выше наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН.

Таким образом, на основании расчетов и требований НТД [1], номинальное напряжение новых ОПН должно быть не менее 96 кВ.

4.4 Определение защитного уровня ОПН при коммутационных перенапряжениях

В соответствии с результатами расчётов (см. Раздел 3.3), установка ОПН с ВАХ, удовлетворяющей предельным требованиям [1] для остающегося напряжения при коммутационном импульсе (см. Таблицу 2.7), позволит обеспечить требуемую защиту ЭА, от возможных коммутационных перенапряжений. Напряжение на защищаемом оборудовании не превысит наибольшего допустимого значения 272 кВ (см. Таблицу 2.3).

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ		Лист			
								16			
Изм.		Кол.уч		Лист		№ док.		Подпись		Дата	

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							16
Взам. инв. №		Подпись и дата		Инов. № подл.			

напряжение ОПН должно быть на 25% выше наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН.

Таким образом, на основании расчетов и требований НТД [1], номинальное напряжение новых ОПН должно быть не менее 96 кВ.

4.4 Определение защитного уровня ОПН при коммутационных перенапряжениях

В соответствии с результатами расчётов (см. Раздел 3.3), установка ОПН с ВАХ, удовлетворяющей предельным требованиям [1] для остающегося напряжения при коммутационном импульсе (см. Таблицу 2.7), позволит обеспечить требуемую защиту ЭА, от возможных коммутационных перенапряжений. Напряжение на защищаемом оборудовании не превысит наибольшего допустимого значения 272 кВ (см. Таблицу 2.3).

4.5 Определение защитного уровня ОПН при грозовых перенапряжениях

В соответствии с результатами расчётов (см. Раздел 3.4.4), установка ОПН с ВАХ, удовлетворяющей предельным требованиям [1] для остающегося напряжения при грозовом импульсе (см. Таблицу 2.7), позволит обеспечить требуемую защиту ЭА, от возможных грозовых перенапряжений. Напряжение на защищаемом оборудовании не превысит наибольшего допустимого значения 360 кВ (см. Таблицу 2.3).

4.6 Выбор ОПН по условиям обеспечения взрывобезопасности

Для ограничителя нормируется величина тока срабатывания противовзрывного устройства, при которой не происходит взрывного разрушения покрышки ОПН при его внутреннем повреждении. При выборе ограничителей с токами срабатывания противовзрывного устройства до 40 кА, его значение должно быть на 15-20% больше значения тока (однофазного или трехфазного) КЗ. Максимальный ток КЗ в сети 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино, составляет 21,58 кА (см. Таблицу 2.2). Таким образом, с учетом требований НТД [1], величина тока срабатывания противовзрывного устройства устанавливаемых ОПН 110 кВ должна быть не менее 40 кА.

Сводная таблица с перечнем технических требований к ОПН 110 кВ, устанавливаемых на фазные провода 110 кВ на ПС 110 кВ Ермолино представлена в Разделе 7.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №										
												Лист
												17
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ						

5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН 10 кВ

5.1 Особенности сети 10 кВ объекта

На технические характеристики защитных аппаратов, устанавливаемых в сети 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино, будут оказывать следующие особенности данной сети:

1) Система молниезащиты ПС обеспечивает защиту от прямых ударов молнии всё оборудование, высоковольтные ошиновки и здания на территории объекта, в том числе трансформаторы Т-1, Т-2, здание ОПУ совмещенного с ЗРУ 10 кВ и шинные мосты 10 кВ трансформаторов. Все присоединения 10 кВ в ЗРУ 10 кВ, выходящие за пределы ПС, на всём протяжении будут выполнены кабельными линиями. Таким образом, в сети 10 кВ фактически исключено появление грозовых перенапряжений.

2) Резистивное заземление нейтрали в сети 10 кВ, с целью обеспечения селективности работы релейной защиты по поиску поврежденного присоединения, одновременно позволяет снижать до безопасного уровня дуговые и феррорезонансные перенапряжения, возникающие в сети 10 кВ. В сочетании с планируемым применением антирезонансных ТН, возникновение феррорезонансных перенапряжений в сети 10 кВ исключено.

3) Коммутационные операции в КРУ 10 кВ будут выполняться с помощью вакуумных выключателей. Срез тока, которым сопровождается отключение вакуумного выключателя, может стать причиной значительных коммутационных перенапряжений в сети 10 кВ.

5.2 Выбор основных параметров ОПН 10 кВ

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН

В соответствии с [10], а также требований [1], для сети 10кВ, работающей с резистивно заземленной нейтралью, наибольшее рабочее длительно допустимое напряжение ОПН выбирается равным наибольшему рабочему напряжению электрооборудования для данного класса напряжения, то есть 12 кВ (см. Раздел 2.5).

Номинальное напряжение ОПН

Номинальное напряжение ОПН, по сути, является одной из точек зависимости «напряжение-время», соответствующей времени 20 секунд. Поэтому номинальное напряжение ОПН, как и характеристика «напряжение-время», определяется наибольшим рабочим напряжением ОПН.

В соответствии с [1], величину номинального напряжения принимаем на 25% выше наибольшего длительно допустимого напряжения ОПН, то есть 15 кВ.

Энергоёмкость ОПН

В соответствии с требованиями [10], расчет энергоёмкости ОПН необходимо проводить в случае установки ОПН в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью для защиты от коммутационных (дуговых) перенапряжений. Для ОПН, устанавливаемых на ПС 110 кВ Ермолино в сети 10 кВ с резистивно заземленной нейтралью, энергоёмкость ОПН принимается в соответствии с типовыми требованиями к ОПН [1].

Защитный уровень ОПН при грозовых перенапряжениях

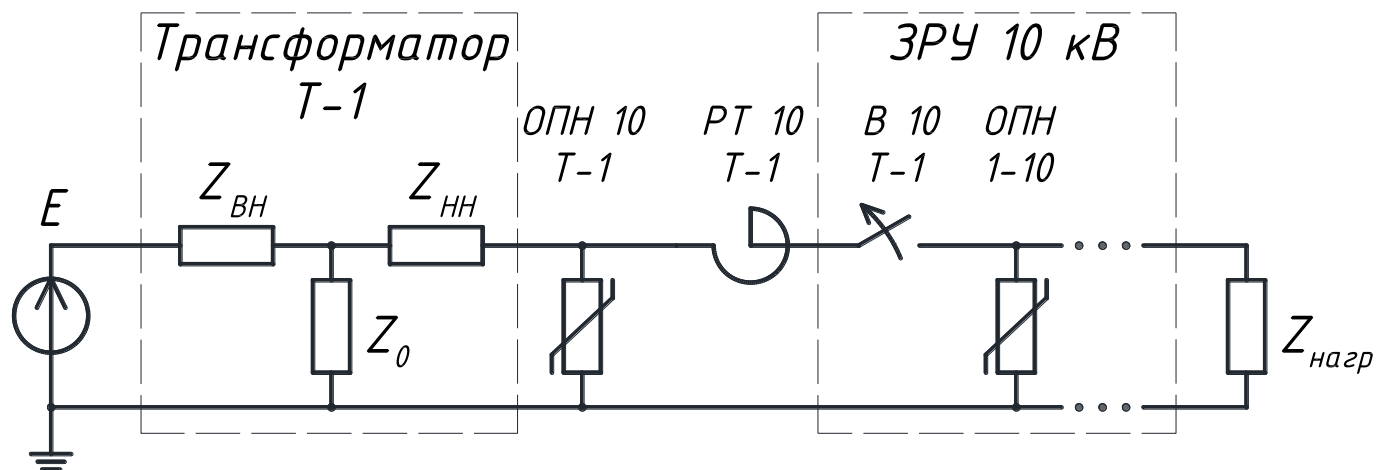
В виду специфики сети 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино (см. Раздел 5.1), набегание грозовых импульсов по кабелям/ошиновкам 10 кВ в ЗРУ 10 кВ исключено. Величины остающихся напряжений на ОПН 10 кВ при грозовых импульсах принимаются равным предельным значениям в соответствии с НТД [1].

Защитный уровень ОПН при коммутационных перенапряжениях

В соответствии со спецификой сети 10 кВ ПС 110 кВ Ермолино (см. Раздел 5.1), наибольшие коммутационные перенапряжения в сети 10 кВ ожидаются при отключении со срезом тока

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	Лист
							18
Изм. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №			
<p>коммутационных (дуговых) перенапряжений. Для ОПН, устанавливаемых на ПС 110 кВ Ермолино в сети 10 кВ с резистивно заземленной нейтралью, энергоёмкость ОПН принимается в соответствии с типовыми требованиями к ОПН [1].</p> <p><u>Защитный уровень ОПН при грозовых перенапряжениях</u></p> <p>В виду специфики сети 10 кВ на ПС 110 кВ Ермолино (см. Раздел 5.1), набегание грозовых импульсов по кабелям/ошиновкам 10 кВ в ЗРУ 10 кВ исключено. Величины остающихся напряжений на ОПН 10 кВ при грозовых импульсах принимаются равным предельным значениям в соответствии с НТД [1].</p> <p><u>Защитный уровень ОПН при коммутационных перенапряжениях</u></p> <p>В соответствии со спецификой сети 10 кВ ПС 110 кВ Ермолино (см. Раздел 5.1), наибольшие коммутационные перенапряжения в сети 10 кВ ожидаются при отключении со срезом тока</p>							

С целью определения соответствующих коммутационных помех было выполнено моделирование переходного процесса отключения трансформатора Т-1 от шин 1 секции 10 кВ в ЗРУ 10 кВ посредством вводного выключателя В 10 Т-1. На Рисунке 5.1 представлена соответствующая схема для расчёта коммутационных перенапряжений при отключении силового трансформатора Т-1 вводным выключателем В 10 Т-1 в ЗРУ 10 кВ.



Параметры схемы замещения трансформатора рассчитаны в соответствии с характеристиками устанавливаемых двухобмоточных трёхфазных трансформаторов Т-1 (Т-2), мощностью 25 МВАр; индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора принято равным 0,25 Ом, в соответствии с данными тома Д208320-330739ПИР-227.0-ОТР; остающиеся напряжения на ОПН 10 кВ при коммутационном импульсе приняты в соответствии с предельными требованиями НТД [1]. Расчёты выполнены для величины тока среза ~10 А, что ~2÷3 раза превышает фактическую величину тока среза у современных вакуумных выключателей.

В соответствии с результатами расчётов, коммутационные перенапряжения при установке ОПН 10 кВ с предельными требованиями к величинам остающихся напряжений при коммутационных импульсах в соответствии с НТД [1], не будут превышать 29 кВ, что ниже допустимого уровня 38 кВ (см. Таблицу 2.3) для оборудования класса напряжения 10 кВ.

Сводная таблица с перечнем технических требований к ОПН 10 кВ, устанавливаемых на ПС 110 кВ Ермолино представлена в Разделе 7.

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	
						Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ			
							Лист		
							19		

6 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПН, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В НЕЙТРАЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В нормальном режиме работы сети 110кВ, напряжение, прикладываемое к ОПН установленному в нейтрали силового трансформатора, близко к нулю. Поэтому величина длительно допустимого рабочего напряжения прикладываемого к изоляции нейтрали трансформатора не нормируется в НТД.

На разземленной нейтрали силового трансформатора повышения напряжения возможны в случаях:

- одно- и двухфазном КЗ в сети;
- неполнофазной коммутации трансформатора или неполнофазном режиме в сети;
- прохождения импульса грозовой волны через обмотку ВН трансформатора.

Внутренние перенапряжения, которые могут быть приложены к разземленной нейтрали трансформатора, ограничены величиной фазного напряжения в сети. В соответствии с НТД [5], в виду более низкого напряжения промышленной частоты между разземленной нейтралью и землей, длительно допустимое напряжение ОПН в нейтрали должно быть на уровне, по крайней мере, 60% от номинального напряжения сети, а пропускная способность (класс пропускной способности, удельная энергоемкость) ОПН в нейтрали должна быть, по крайней мере, такой же, какая требуется для фазных ОПН. С учетом опыта эксплуатации ОПН [21], рекомендуемый уровень длительно допустимого рабочего напряжения ОПН, устанавливаемых в нейтрали трансформаторов должен быть не менее 56 кВ, а величина допустимого напряжения на ОПН в течение 20с должна быть не менее 73 кВ.

Величину остающегося напряжения при протекании тока грозового импульса (8/20 мкс) амплитудой 10 кА в соответствии с [21, 22], принимаем равной 184 кВ.

Внешняя изоляция ОПН должна соответствовать требованиям НТД [4] для аппаратов класса напряжения 110 кВ.

Сводная таблица с техническими требованиями к ОПН, устанавливаемым в нейтрали силовых трансформаторов представлена в Разделе 7.

Инов. № подл.	Подпись и дата					Взам. инв. №				
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ				
						Лист				
						20				

7 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОПН

Оборудование	ОПН 10 кВ	ОПН 110 кВ нейтраль	ОПН 110 кВ
Количество	24 (двадцать четыре) шт.	2 (две) шт.	12 (двенадцать) шт.
Для строительства	ПС 110 кВ Ермолино («Северные электрические сети» – филиал ПАО «Россети Московский регион»)		
Срок поставки	В соответствии с графиком выполнения поставок, работ (услуг)		
Адрес объекта	Московская область, поселок Спас-Каменка		

№ п/п	Технические характеристики (наименование параметра)	Ссылка на НТД	Требования (значения параметров)		
1	Класс напряжения сети, кВ	ГОСТ Р 57382-2017, п.5.1.	10	110 нейтраль	110
2	Наибольшее рабочее напряжение сети, кВ	ГОСТ Р 57382-2017, п.5.1.	12	40,5	126
3	Способ заземления нейтрали	ГОСТ Р 55195-2012, п.4.2.2	резистивно заземленная	эффективно заземленная	эффективно заземленная
4	Исполнение (в соответствии с типом)	ГОСТ Р 52725*	опорное	опорное	опорное
5	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ (допустимо увеличение на 3%)	ГОСТ Р 52725, п.4.2.3, МУ6*, п.5.1, МУ110*, п.3.1.4	12	56	77
6	Класс пропускной способности	ГОСТ Р 52725-2021 (ГОСТ Р 52725-2007*), п.4.1.2	3(2)	4(3)	4(3)
7	Заряд пропускной способности $Q_{пр}$, Кл, не менее	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2	1,0	1,6	1,6
8	Ток пропускной способности ОПН (18 импульсов прямоугольной формы длительностью 2000 мкс), А, не менее	ГОСТ Р 52725-2007*, п.4, МУ6 п.7.1.1.3	500	750	750
9	Тепловая энергия W_m , кДж/кВ, не менее (2 импульса)	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2	4	7	7
10	Тепловой заряд Q_m , Кл, не менее	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2	1,1	1,1	1,1
11	Удельная энергоемкость ОПН, кДж/кВ ($U_{пр}$), не менее (1 импульс)	ГОСТ Р 52725-2007*, п.9.4.2, МУ6, п.5.4, МУ110, п.3.2	3,2	3,2	3,2
12	Ток КЗ в месте установки ОПН, кА	-	19,01	21,58	21,58
13	Устойчивость к кратковременному току КЗ длительностью 0,2 с (максимальный ток взрывобезопасности), кА, не менее	ГОСТ Р 52725, п.5.4.10, п.8.18, МУ6, п.5.5, МУ110, п.3.7	40	40	40
14	Номинальная частота сети, Гц	ГОСТ 721, п.1, ГОСТ Р 54149, п.4.2.1	50		
15	Номинальный разрядный ток ОПН, кА, не менее	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2, МУ6, п.5.2	10		

Взам. инв. №	10	Тепловой заряд Q_t , Кл, не менее	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2	1,1	1,1	1,1
	11	Удельная энергоемкость ОПН, кДж/кВ ($U_{нр}$), не менее (1 импульс)	ГОСТ Р 52725-2007*, п.9.4.2, МУ6, п.5.4, МУ110, п.3.2	3,2	3,2	3,2
	12	Ток КЗ в месте установки ОПН, кА	-	19,01	21,58	21,58
Подпись и дата	13	Устойчивость к кратковременному току КЗ длительностью 0,2 с (максимальный ток взрывобезопасности), кА, не менее	ГОСТ Р 52725, п.5.4.10, п.8.18, МУ6, п.5.5, МУ110, п.3.7	40	40	40
	14	Номинальная частота сети, Гц	ГОСТ 721, п.1, ГОСТ Р 54149, п.4.2.1	50		
	15	Номинальный разрядный ток ОПН, кА, не менее	ГОСТ Р 52725, п.4.1.2, МУ6, п.5.2	10		
Инв. № подл.						
	Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ						Лист
						21

										24		
№ п/п		Технические характеристики (наименование параметра)				Ссылка на НТД		Требования (значения параметров)				
16		Импульс большого тока 4/10 мкс, кА, не менее				ГОСТ Р 52725, п.5.2.4		100				
17		Варисторы (материал)				ГОСТ Р 52725, п.3.1.2		Металлооксидные (ZnO)				
18		Тип варистора, производитель				-		Указывается изготовителем				
19		Остающееся напряжение при импульсе тока 30/60 мкс, кВ, не более - 500 А				ГОСТ Р 52725, п.5.2.1, п.8.4		30,0		136 215		
20		Остающееся напряжение при импульсе тока 8/20 мкс, кВ, не более - 10 кА				ГОСТ Р 52725, п.5.2.1, п.8.4		38,0		184 280		
21		Остающиеся напряжения при импульсе тока 1/10(20) мкс, кВ, не более - 10 кА				ГОСТ Р 52725, п.5.2.1, п.8.4		Указывается изготовителем				
22		Характеристика напряжение-время				ГОСТ Р 52725, п.5.2.5, п.8.7		Указывается изготовителем				
23		Тип внешней изоляции				ГОСТ Р 52725		Полимерная цельнолитая кремнийорганическая				
24		Трекинго-эрозионная стойкость изоляции				ГОСТ Р 52725, п.5.3.2, п.8.10		Да				
25		Гидрофобность поверхности, не менее				ГОСТ Р 52082, п.8.9		Класс 2				
26		Герметичность ОПН				ГОСТ Р 52725, п.5.4.5, п.8.13		Да				
27		Допустимая величина механической нагрузки от горизонтального тяжения проводов, Н, не менее				ГОСТ Р 52725, п.5.4.6		300		300 500		
28		Ветровая нагрузка без гололеда, м/с				ГОСТ Р 52725, п.5.4.6		40				
29		Ветровая нагрузка с гололедом (толщина стенки 20 мм), м/с				ГОСТ Р 52725, п.5.4.6		15				
30		Механическая нагрузка от вибрации по группе условий эксплуатации				ГОСТ Р 52725, п.5.4.7, п.8.15, ГОСТ 17516.1		М6		М1 М1		
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	31		Климатическое исполнение и категория размещения, не хуже (в соответствии с типом; У1 - если не указано)		ГОСТ 15150, п.3.2, ГОСТ Р 52725, п.5.1, ГОСТ 15150, п.2.1.3		У1, У2			
			32		Удельная длина пути утечки внешней изоляции, см/кВ, не менее		ГОСТ Р 52725, п.5.3.4, ГОСТ 9920, МУ6, п.5.6, МУ110, п.3.8		2,5		2,5 2,7	
			33		Проведение электрических испытаний в процессе эксплуатации		-		Не требуется в течение нормированного срока службы - 30 лет (письменное подтверждение изготовителя)			

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ

Инв. № подл.							Лист															
								23														
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ																
Подпись и дата																						
Взам. инв. №																						
44	Комплектность по ГОСТ: паспорт с результатами приемо-сдаточных испытаний на каждый ограничитель; руководство по эксплуатации и монтажу на партию ОПН одного типа.						ГОСТ Р 52725, п.5.6				Да											
45	Дополнительная комплектация для СИП 0,2-0,4 кВ: прокалывающий зажим; изолированный шунт; отделитель; провод заземления.						-				-				-				-			

№ п/п	Технические характеристики (наименование параметра)	Ссылка на НТД	Требования (значения параметров)		
34	Документы, подтверждающие технические характеристики ОПН	ГОСТ Р 52725	Аттестация в ПАО «Россети» или предоставление полного комплекта протоколов испытаний на соответствие ГОСТ Р 52725		
35	Экран выравнивания потенциала	-	Не обязательно		
36	Высота, мм, не более	-	-		
37	Масса, кг, не более	-	-		
38	Уровень ЧР при $1,05 \cdot U_{н.р.}$, пКл, не более	ГОСТ Р 52725, п.5.3.3, п.8.11	-	-	10
39	Уровень радиопомех при $1,05 \cdot U_{н.р.}$, мкВ, не более	ГОСТ Р 52725 п.5.4.12, п.8.20	-	-	2500
40	Испытания на пожаробезопасность ограничителя	ГОСТ 12.2.007.3, ГОСТ Р 52725, п.5.4.13	Да		
41	Высота установки над уровнем моря, м, не более	ГОСТ Р 52725, п.5.1.3	1000		
42	При подвесном исполнении ОПН должен выдерживать механические нагрузки на растяжение от собственного веса и подводящих проводов с учетом воздействия на них гололеда и ветра	ГОСТ Р 52725, п.5.4.6	Да		
43	Маркировка, упаковка и консервация по ГОСТ: товарный знак и/или наименование предприятия-изготовителя; условное обозначение типа ограничителя; месяц, год изготовления, заводской номер; массу, кг, для ОПН, модулей ОПН массой 10 кг и более; обозначение модуля ОПН (для ОПН, состоящих из нескольких модулей).	ГОСТ Р 52725, п.5.7, ГОСТ 18620, ГОСТ 14192, ГОСТ 23216	Да		
44	Комплектность по ГОСТ: паспорт с результатами приемо-сдаточных испытаний на каждый ограничитель; руководство по эксплуатации и монтажу на партию ОПН одного типа.	ГОСТ Р 52725, п.5.6	Да		
45	Дополнительная комплектация для СИП 0,2-0,4 кВ: прокалывающий зажим; изолированный шунт; отделитель; провод заземления.	-	-	-	-

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						26
№ п/п	Технические характеристики (наименование параметра)	Ссылка на НТД	Требования (значения параметров)			
46	Дополнительная комплектация для подвешного ОПН 6-20 кВ: - прокалывающий зажим; - изолированный шунт; - отделитель; - провод заземления.	-	Да	-	-	
47	Дополнительная комплектация для подвешного ОПН 35-220 кВ: - отделитель (срабатывание при выходе из строя ОПН при воздействии токов КЗ); - крепление на провод (исключающее проскальзывание и перетирание провода); - крепление к траверсе; - заземляющий проводник.	-	-	-	Да	
48	Дополнительная комплектация для ОПН 110-220 кВ опорного исполнения: - изолирующее основание.	-	Не требуется	Не требуется	Да, либо конструкция ОПН с выводом измерительного провода	
49	Дополнительная комплектация для ОПН 110-220 кВ опорного исполнения: - прибор контроля тока проводимости под рабочим напряжением.	Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (2021), п.2.5.6.7	Не требуется	Не требуется	Да	
50	Условия транспортирования по ГОСТ	ГОСТ Р 52725, п.9, ГОСТ 23216	Да			
51	Эксплуатационная документация на русском языке	-	Да			
52	Нормированный срок службы, подтвержденный производителем, лет, не менее	ГОСТ Р 52725, п.5.5.2, Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (2021), п.2.1.10.5	30			
53	Гарантийный срок после монтажа, лет, не менее	ГОСТ Р 52725, п.11	5			
54	Гарантийный срок хранения, лет, не менее	ГОСТ Р 52725, п.9	2			
Примечания:						
1. При закупке оборудования поставщик предоставляет протоколы испытаний либо						
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ					Лист	
					24	

документацию по действующей аттестации ПАО "Россети".

2. ГОСТ Р 52725 - ГОСТ Р 52725-2021 Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.
3. МУ6 - Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6-35 кВ (Утверждено: Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 27.04.2001).
4. МУ110- Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ (Утверждено: Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 30.09.1999).
5. В п.6, 8, 11 указаны значения параметров ОПН по ГОСТ Р 52725-2007.

Инов. № подл.	Подпись и дата					Взам. инв. №	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	
						Лист	25

СПИСОК НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 56947007-29.120.50.076-2011 Типовые технические требования к ограничителям перенапряжения классов напряжения 6-750 кВ. Стандарт организации.
2. ГОСТ 59279-2020 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций. Типовые решения. Рекомендации по применению.
3. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
4. ГОСТ Р 55195-2012 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
5. ГОСТ Р 53735.5-2009 Разрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению.
6. ГОСТ 9920-89. Электроустановки переменного тока на напряжение 3 – 750 кВ.
7. ГОСТ Р 52725-2021. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.
8. Методические указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110 кВ и выше.
9. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ РАО «ЕЭС России». Разработчики ОАО «Институт Энергосетьпроект», ОАО «ВНИИЭ», НТК «ЭЛ-проект», Москва, 2000.
10. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6 - 35 кВ. РАО «ЕЭС России». Разработчики: ОАО «Институт «Энергосетьпроект»», ОАО ВНИИЭ, НТК «ЭЛ-ПРОЕКТ» при участии ОАО «Институт Теплоэнергопроект». Москва 2001.
11. Ограничители перенапряжения в электроустановках 6 – 750 кВ. Методическое и справочное пособие.
12. Правила устройства электроустановок. Издание 6, переработанное и дополненное.
13. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
14. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. Часть 1. Защита от внутренних перенапряжений электрических сетей 110-1150 кВ.
15. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. Часть 2. Защита от внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ.
16. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. Часть 3. Грозозащита линий и подстанций 6-1150 кВ.
17. РД 34.20.517-87. Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110 – 500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	электрических сетей 110-1150 кВ.								
			15. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Часть 2. Защита от внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ.								
			16. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Часть 3. Грозозащита линий и подстанций 6-1150 кВ.								
			17. РД 34.20.517-87. Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110 – 500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения.								
						Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ					Лист
											26
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата						

18. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
19. СТО 56947007-29.240.01.221-2016 Руководство по защите электрических сетей напряжением 110 – 750 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. Стандарт организации.
20. ГОСТ 27661-2017 Изоляторы линейные подвесные тарельчатые. Типы, параметры и размеры.
21. Ф. Г. Алиев, А. К. Горюнов, А. Н. Евсеев А. И. Таджикибаев, Ф. Х. Халилов. Перенапряжения в нейтрали силовых трансформаторов 6-110 кВ и методы их ограничения. Государственное образовательное учреждение «Петербургский энергетический институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов министерства энергетики Российской Федерации» Санкт-Петербург 2001.
22. Ф. Х. Халилов. Выбор нелинейных ограничителей перенапряжения для установки в сетях 110-750 кВ. Санкт-Петербург 2005 г.

Инв. № подл.	Взам. инв. №					Лист 27
	Подпись и дата					
	Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	
Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ						

Лист регистрации изменений

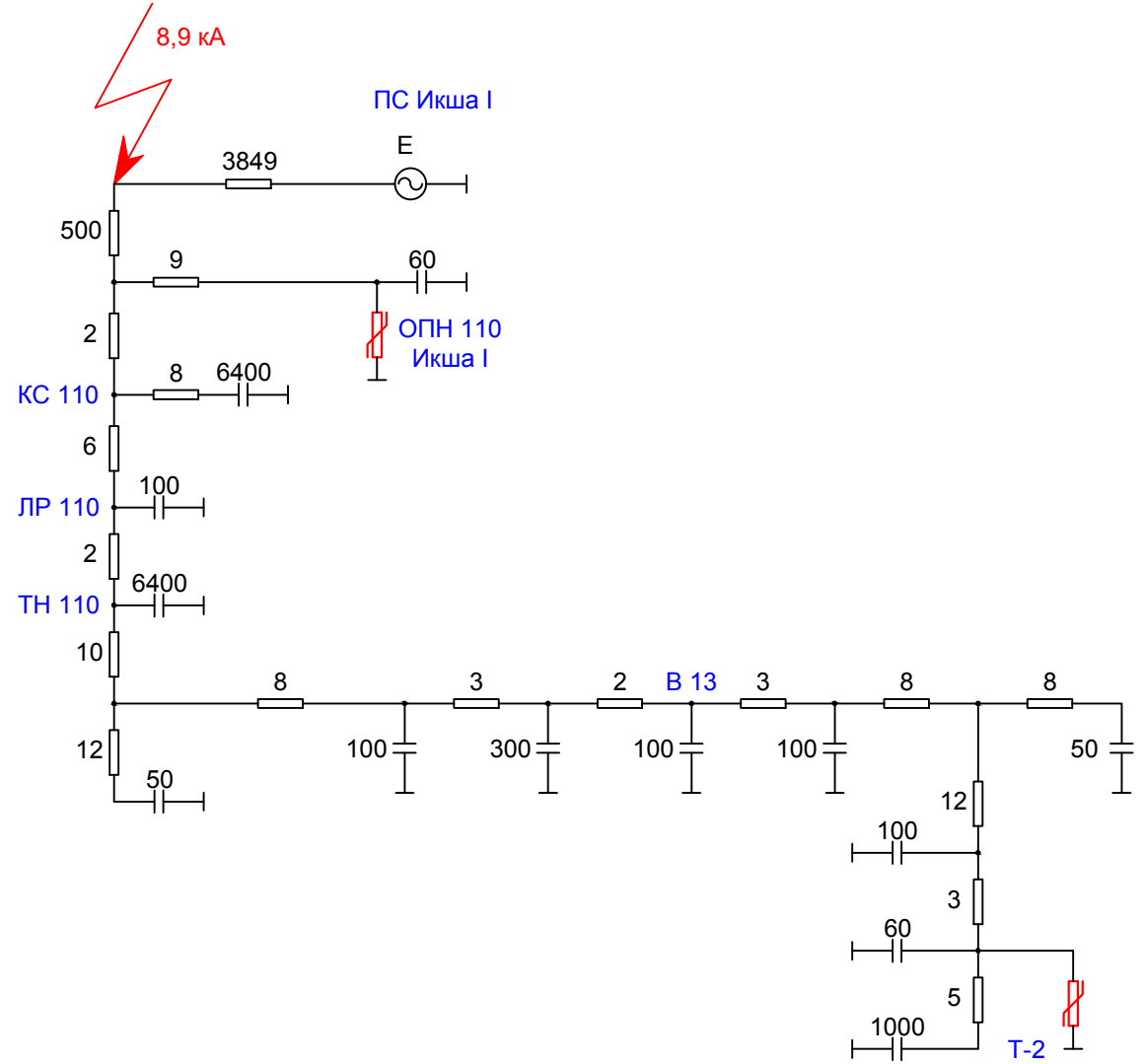
Таблица регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер док.	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных				

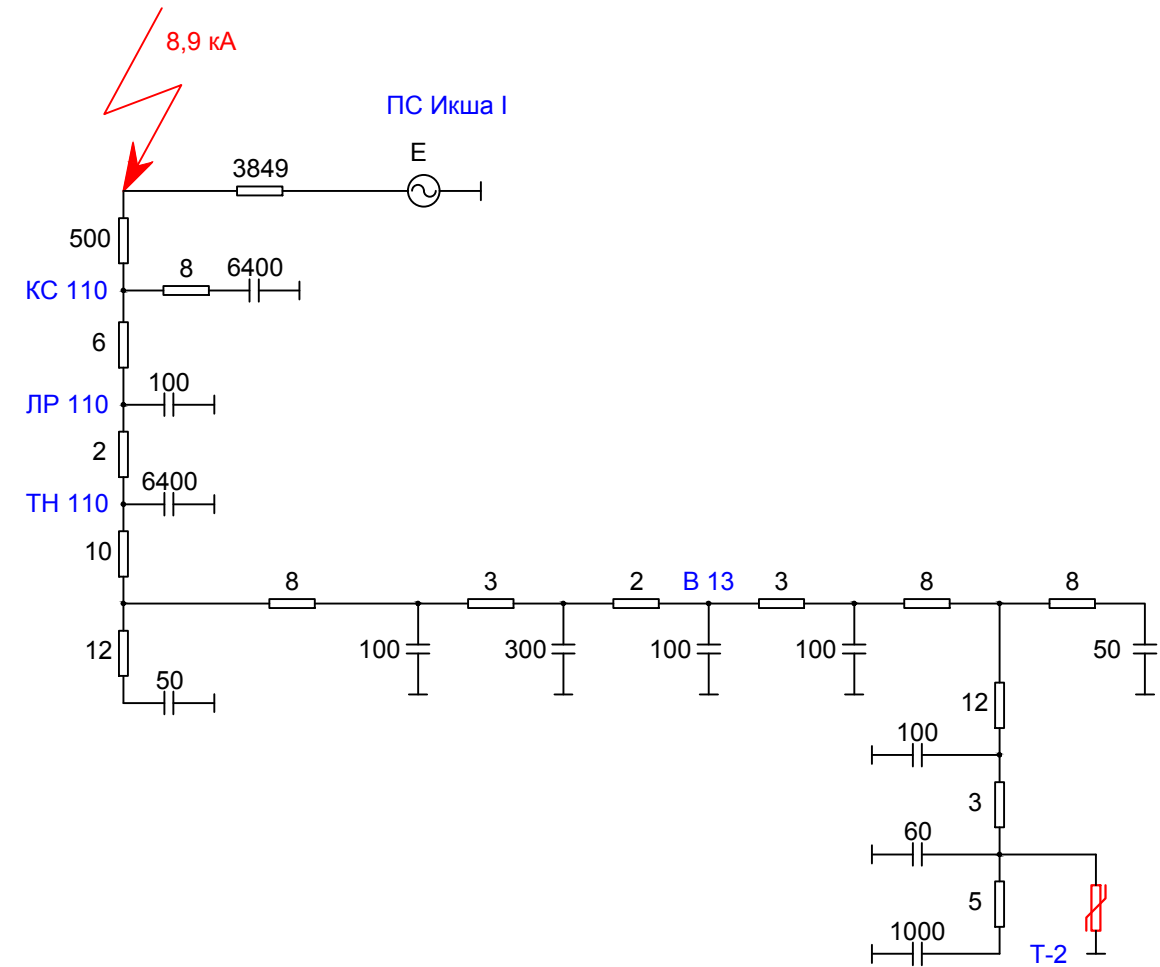
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инов. № подл.	Лист	
									28	
									Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ПЗ	

ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

А1. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при подключении Т-2 и ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино



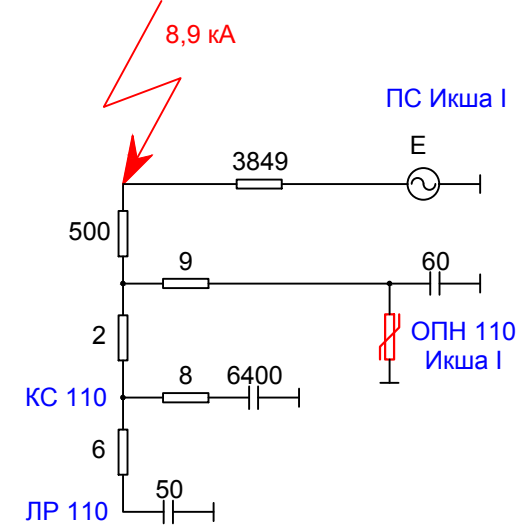
Б1. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при подключении Т-2 и ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино и отсутствии ОПН 110 Икша I



Условные обозначения

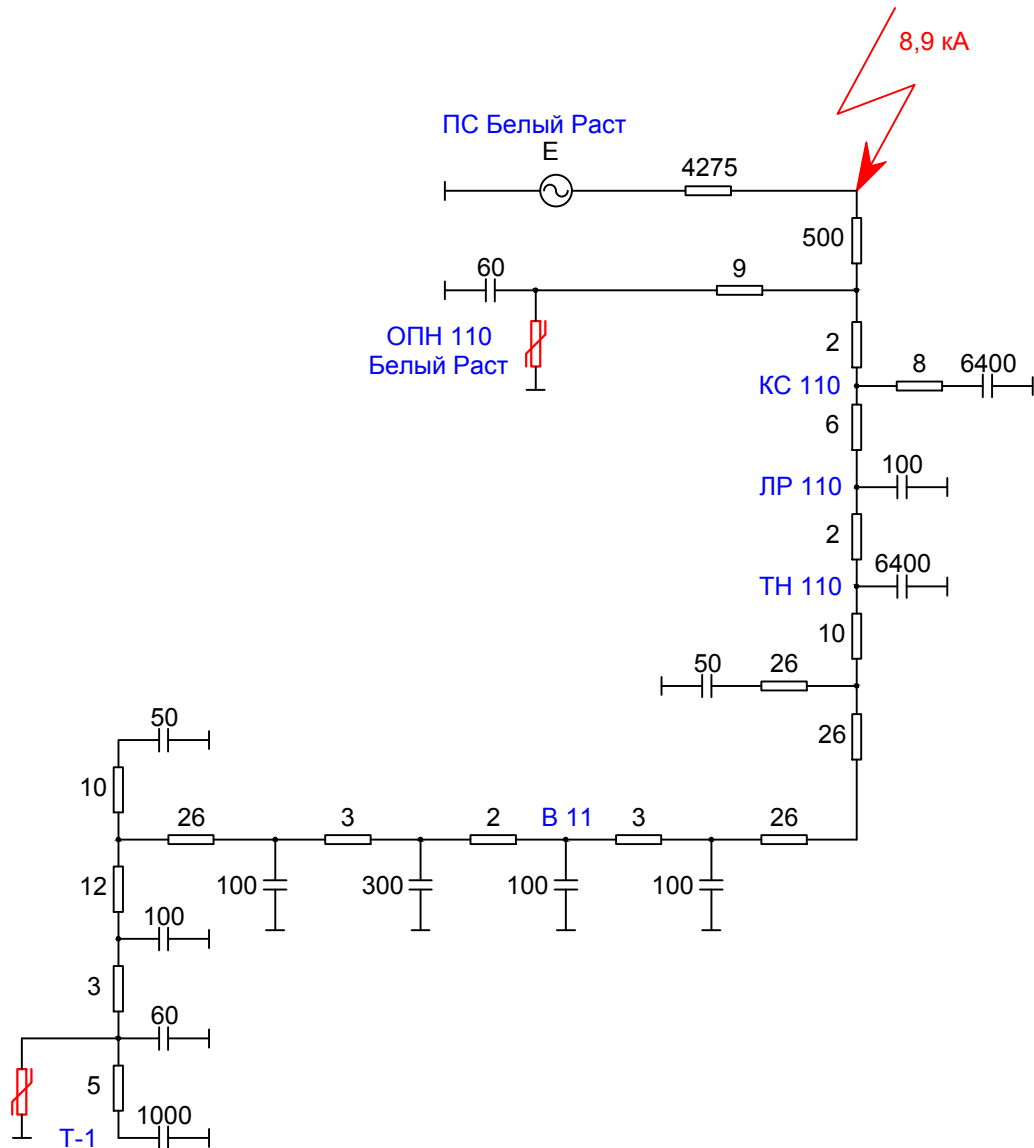
- протяженность участков линий / шин, метры
- индуктивность, мкГн
- ёмкость, пФ
- ограничитель перенапряжений нелинейный

В1. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при отключенной ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино

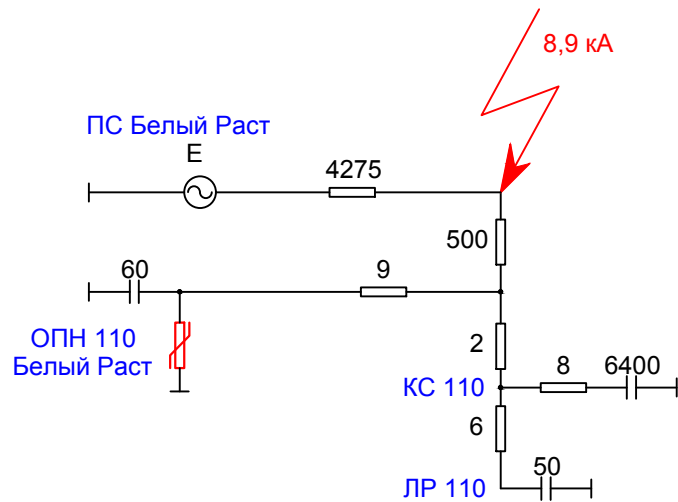


Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2					
Строительство ПС 110 кВ Ермолино с установкой двух трансформаторов напряжением 110/10 кВ мощностью 25 МВА каждый и заходов от ВЛ 110 кВ Икша -Белый Раст № 3 на ПС 110 кВ Ермолино с образованием ВЛ 110 кВ Икша 1 - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разраб.	Ковалев				07.25
Проверил	Костин				07.25
Координация изоляции.				Стадия	Лист
ПС 110 кВ Ермолино				П	1
Схемы замещения для расчёта грозовых перенапряжений. ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино				Спец ЭМС	
Н.контр	Костин				07.25

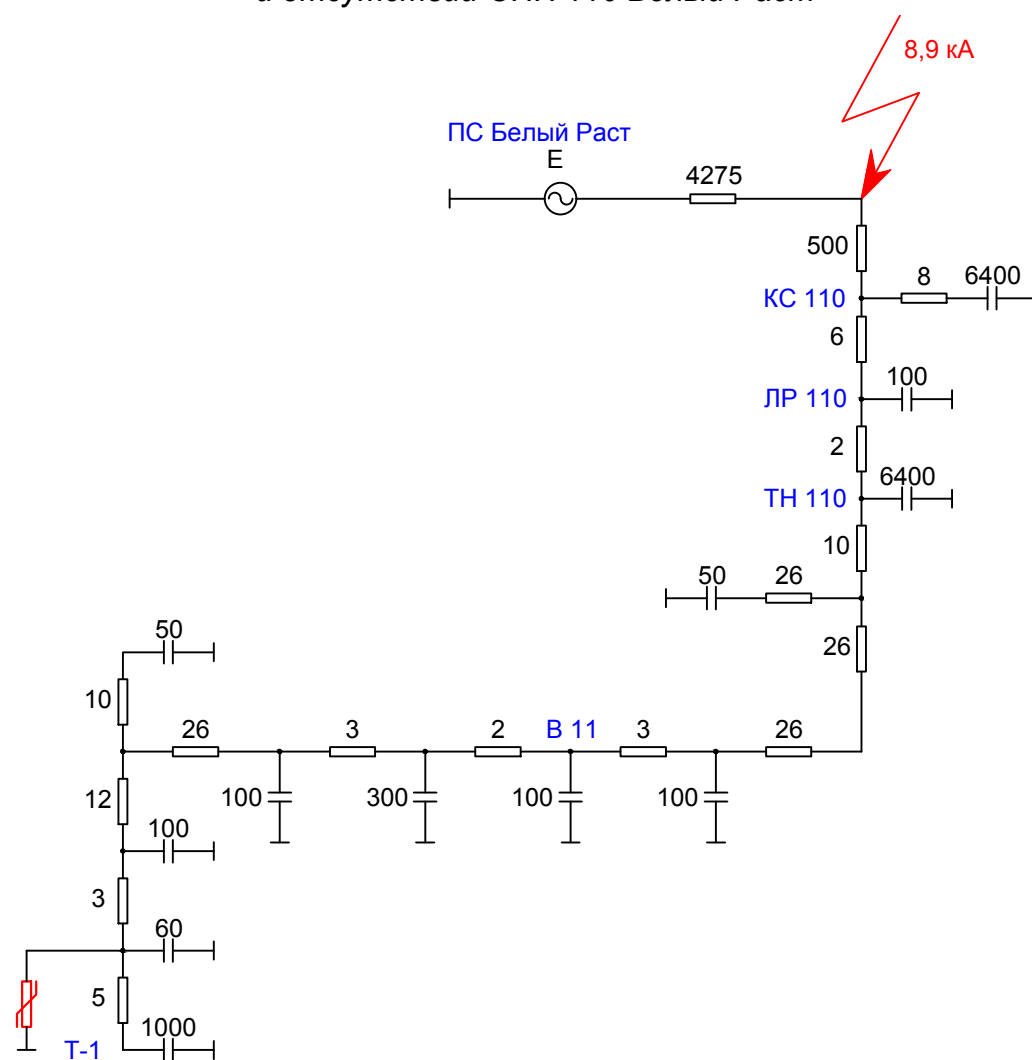
А2. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при подключении Т-1 и ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино



В2. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при отключенной ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино



Б2. Схема замещения для расчета грозовых перенапряжений в сети 110 кВ при подключении Т-1 и ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино и отсутствии ОПН 110 Белый Раст



Условные обозначения

- 10 - протяженность участков линий / шин, метры
- 3 - индуктивность, мкГн
- 100 - ёмкость, пФ
- ограничитель перенапряжений нелинейный

						Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ			
						Строительство ПС 110 кВ Ермолино с установкой двух трансформаторов напряжением 110/10 кВ мощностью 25 МВА каждый и заходов от ВЛ 110 кВ Икша -Белый Раст № 3 на ПС 110 кВ Ермолино с образованием ВЛ 110 кВ Икша 1 - Ермолино и ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Координация изоляции. ПС 110 кВ Ермолино	Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Ковалев			07.25		П		1
Проверил		Костин			07.25				
						Схемы замещения для расчёта грозовых перенапряжений. ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино	Спец  ЭМС		
Н.контр		Костин			07.25				

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ОСИЛЛОГРАММЫ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ,
ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ РАСЧЁТОВ

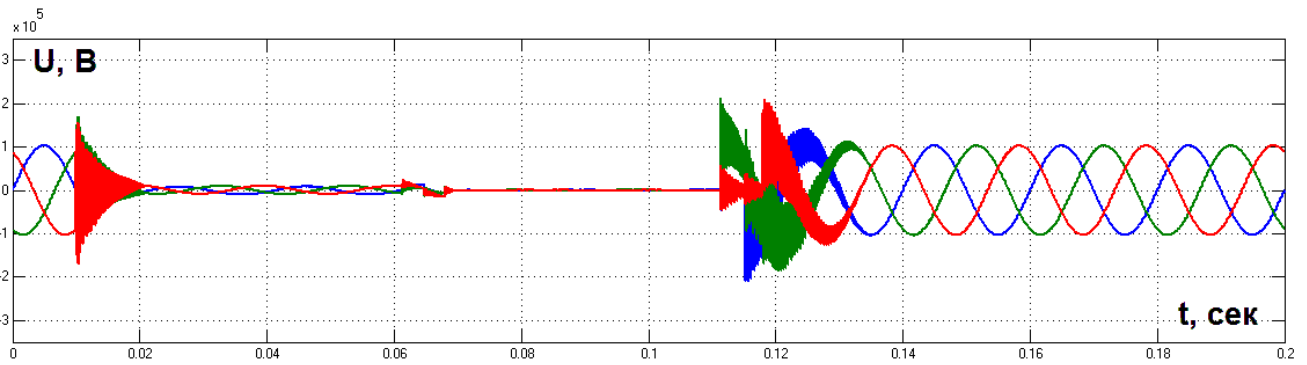


Рисунок А.1 – Успешное ТАПВ при КЗ на ПС 110 кВ Ермолино
Напряжение на шинах ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино.

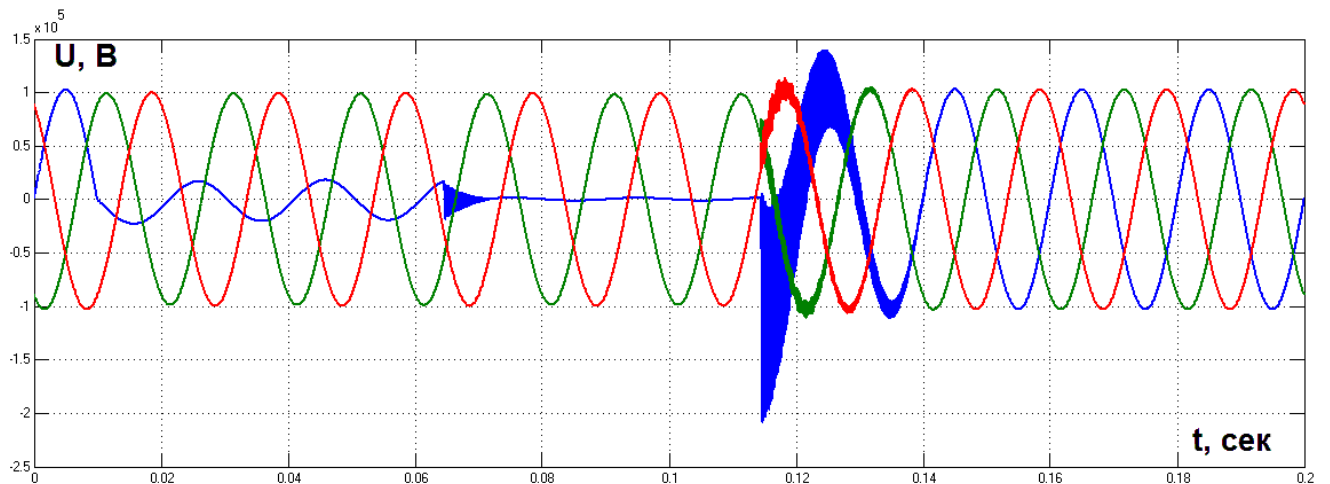


Рисунок А.2 – Успешное ОАПВ при КЗ на ПС 110 кВ Ермолино
Напряжение на шинах ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино.

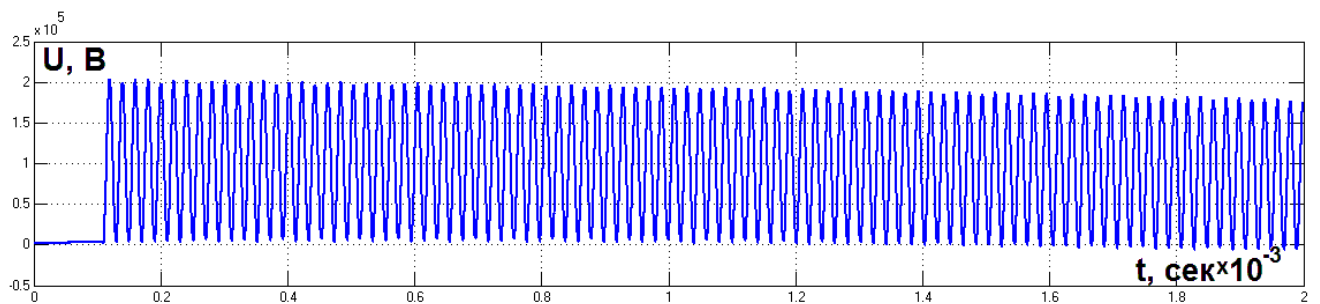


Рисунок А.3 – ВЧ-перенапряжения при коммутации ЛР 110 Икша I холостых шин ОРУ 110 кВ
ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на трансформаторе Т-1
(расчётная схема замещения на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1)

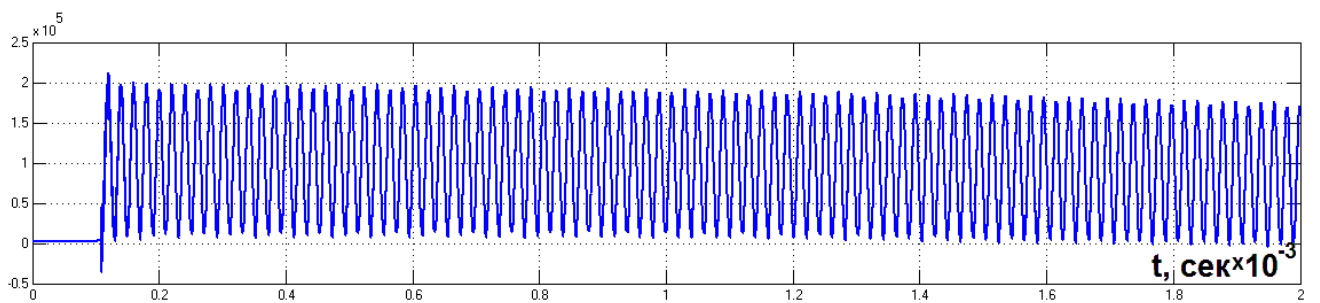


Рисунок А.4 – ВЧ-перенапряжения при коммутации ЛР 110 Икша I холостых шин ОРУ 110 кВ
ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на ТН 110 Икша I
(расчётная схема замещения на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1)

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

1

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ

Изм. Кол.уч Лист № док. Подпись Дата

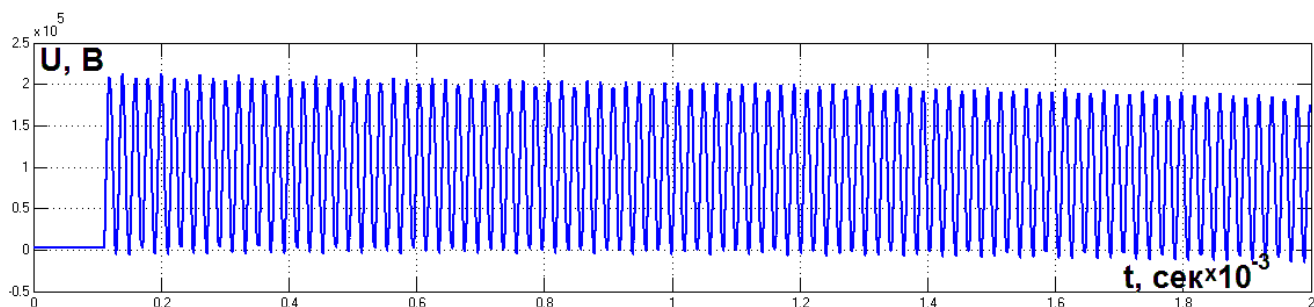


Рисунок А.5 – ВЧ-перенапряжения при коммутации ЛР 110 Икша I холостых шин ОРУ 110 кВ
ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на ТН 110 Белый Раст
(расчётная схема замещения на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1)

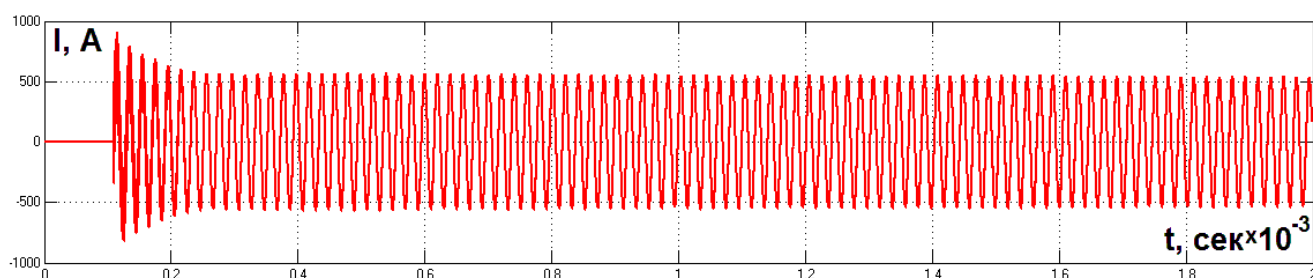


Рисунок А.6 – Ток через ЛР 110 Икша I при коммутации ЛР 110 Икша I холостых
шин ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ Ермолино
(расчётная схема замещения на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ1)

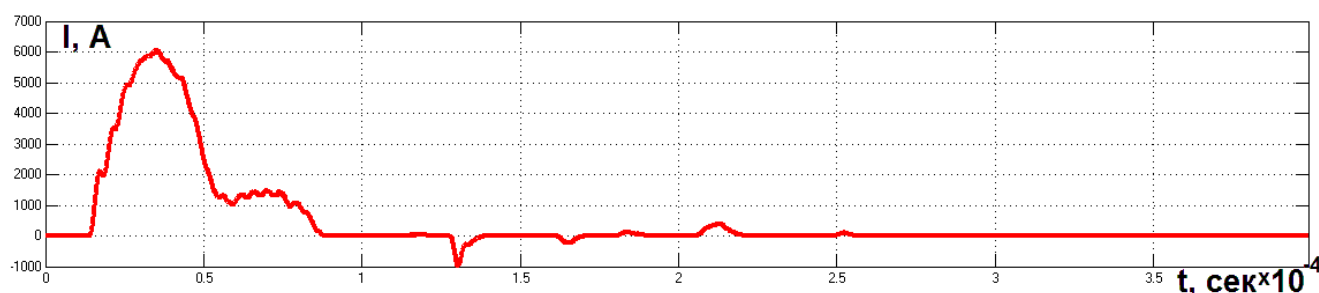


Рисунок А.7 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Ток через ОПН 110 Икша I
(схема А1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

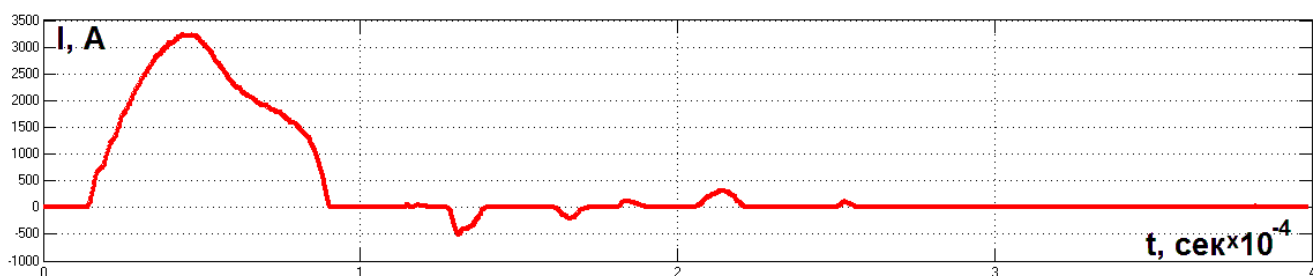


Рисунок А.8 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Ток через ОПН 110 Т-2
(схема А1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата

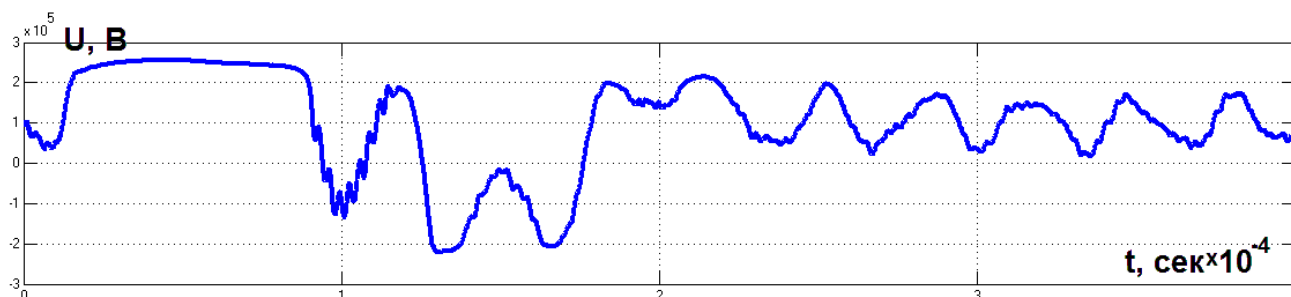


Рисунок А.9 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение Т-2
(схема А1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

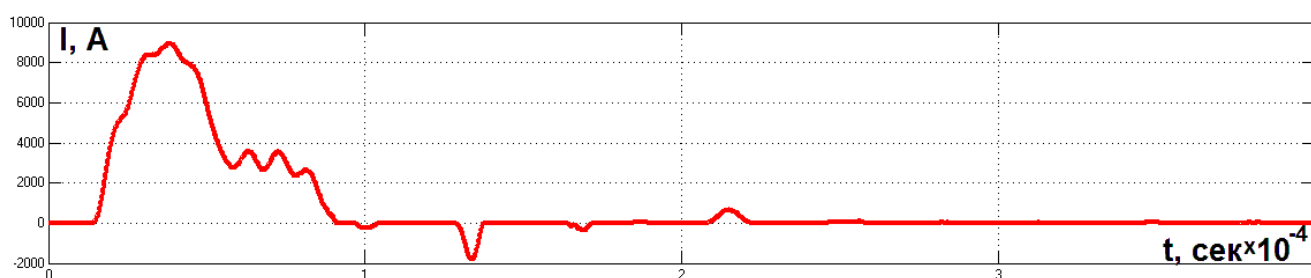


Рисунок А.10 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Ток через ОПН 110 Т-2
(схема Б1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

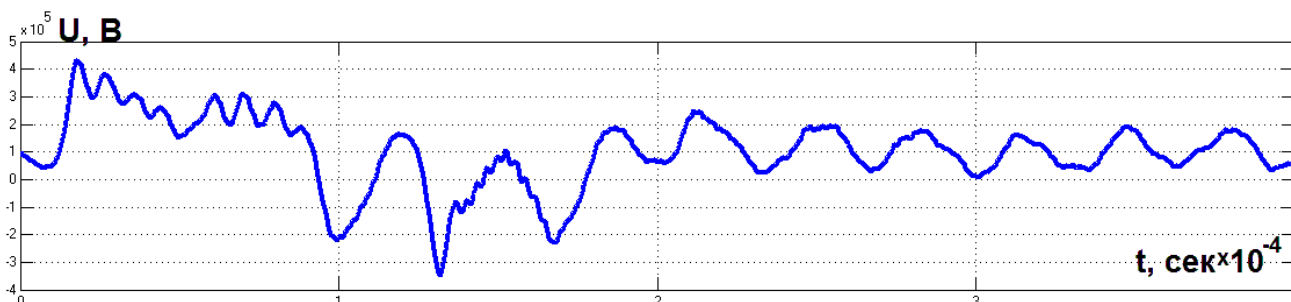


Рисунок А.11 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на КС 110 Икша I
(схема Б1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

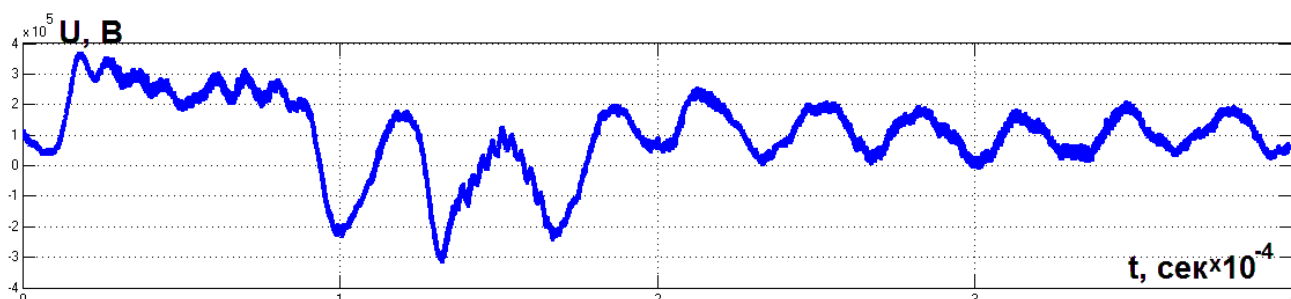
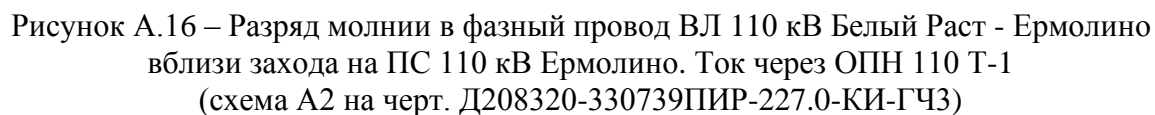
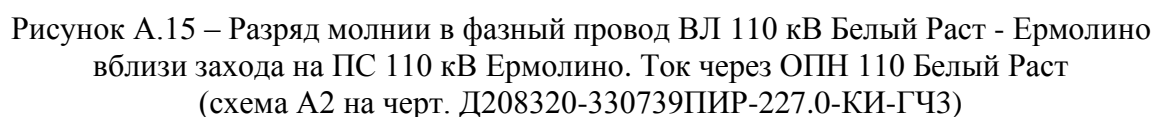
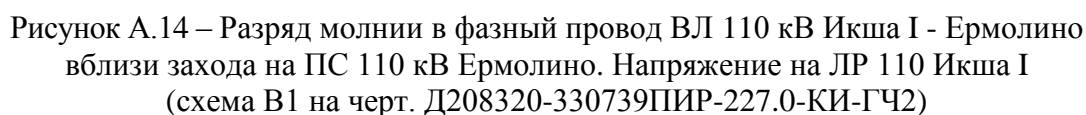
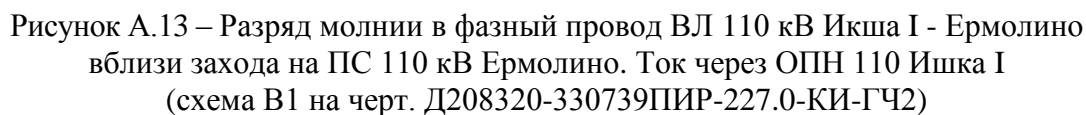


Рисунок А.12 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Икша I - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на В13
(схема Б1 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧ2)

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата



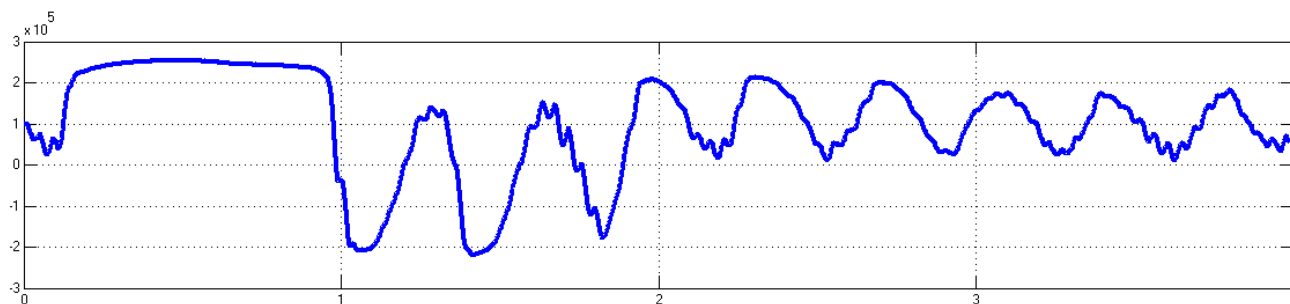


Рисунок А.17 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на Т-1
(схема А2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ)

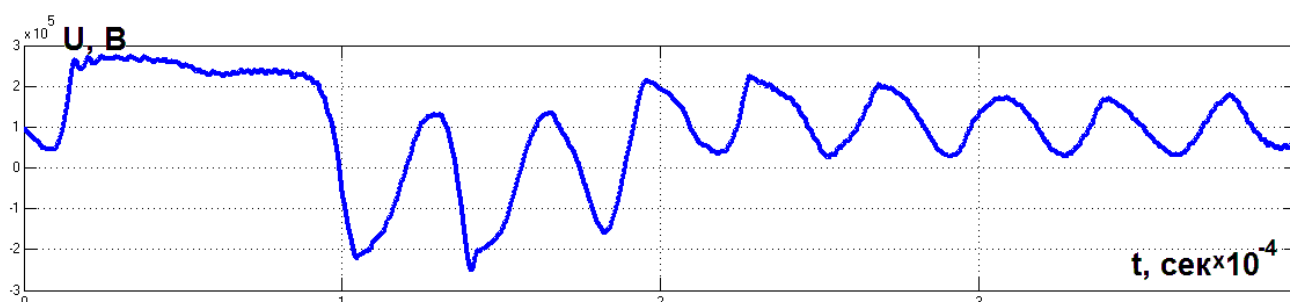


Рисунок А.18 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на ТН 110 Белый Раст
(схема А2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ)

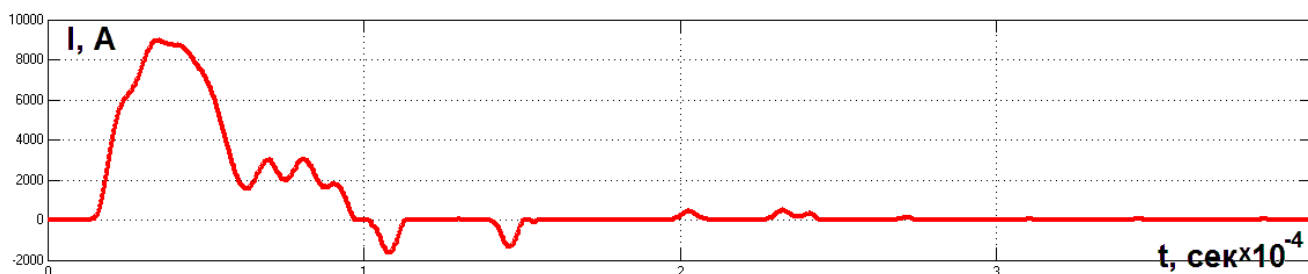


Рисунок А.19 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Ток через ОПН 110 Т-1
(схема Б2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ)

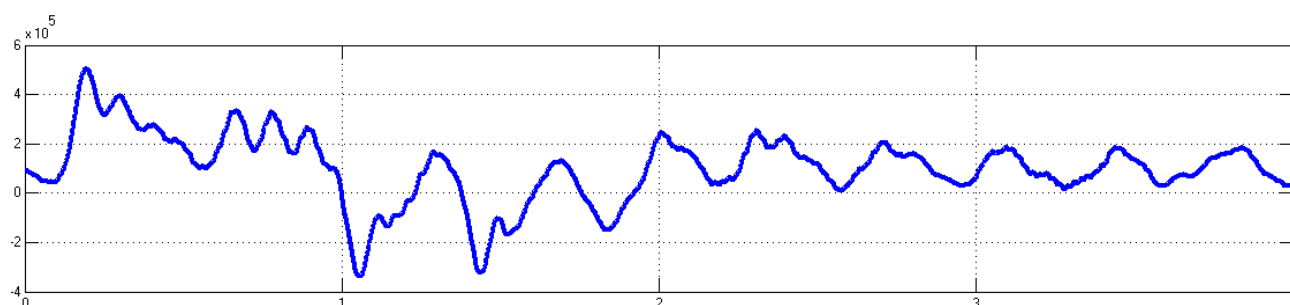


Рисунок А.20 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на КС 110 Белый Раст
(схема Б2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата

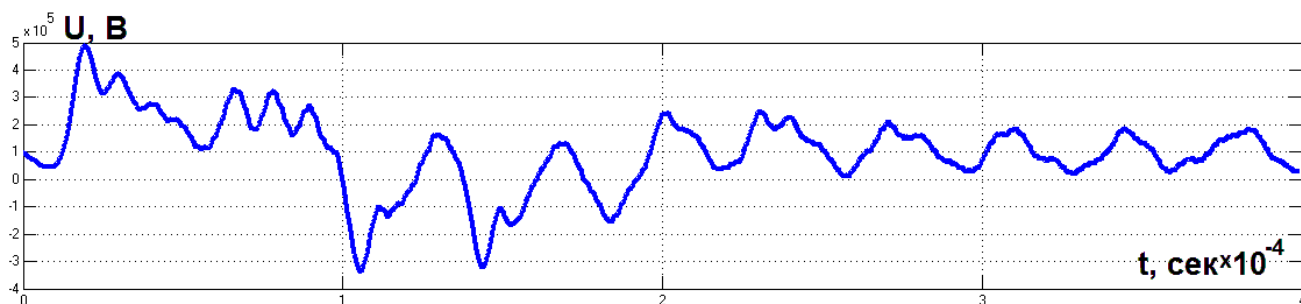


Рисунок А.21 – Разряд молнии в фазный провод ВЛ 110 кВ Белый Раст - Ермолино
вблизи захода на ПС 110 кВ Ермолино. Напряжение на ТН 110 Белый Раст
(схема Б2 на черт. Д208320-330739ПИР-227.0-КИ-ГЧЗ)

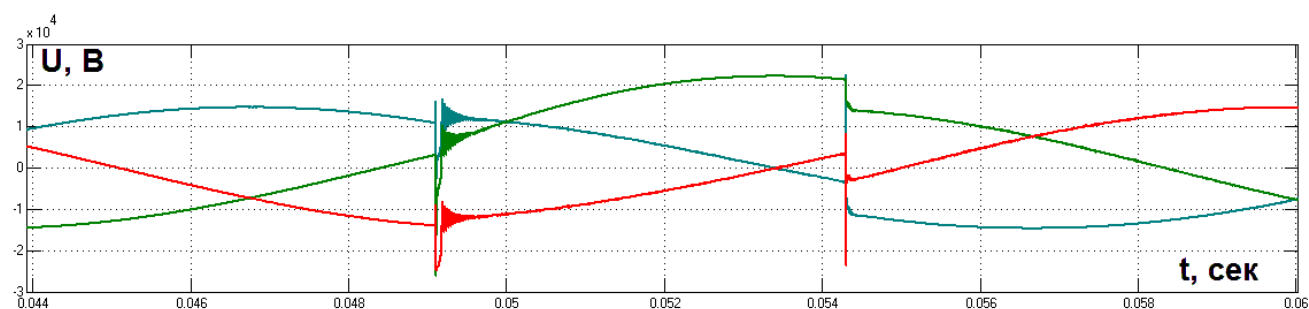


Рисунок А.22 – Напряжение на обмотке НН трансформатора Т-1 при отключении
выключателем В 10 Т-1 со срезом тока ~10А.

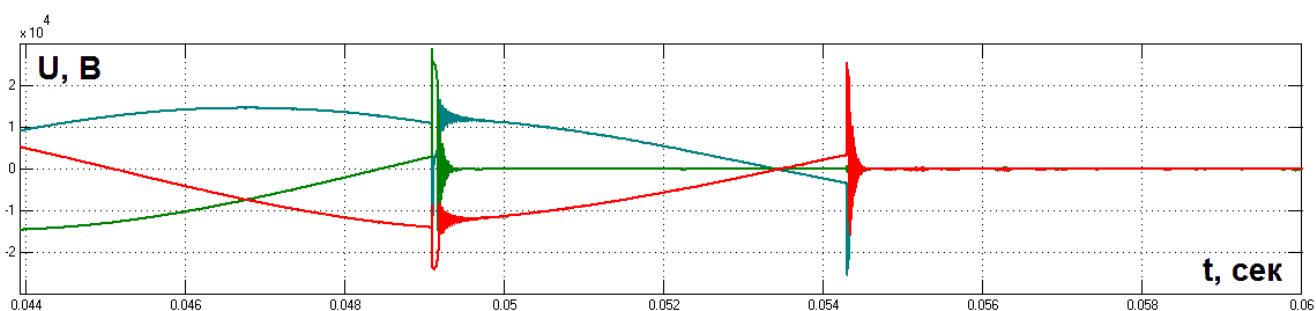


Рисунок А.23 – Напряжение на 1СШ 10 кВ в КРУ 10 кВ при отключении
выключателем В 10 Т-1 со срезом тока ~10А.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Д208320-330739ПИР-227.0-КИ

Лист

6